

QE1
J77

Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde

Herausgegeben vom
Staatlichen Museum für Naturkunde in Stuttgart

Serie B (Geologie und Paläontologie), Nr. 15

LIBRARY

Stuttgart 1975

APR 4 1977

A. M. N. H.

Riffbau und geologische Entwicklungsgeschichte der Insel San Andrés (westliches Karibisches Meer, Kolumbien)

Von Jörn Geister, Bern

Mit 11 Tafeln und 29 Abbildungen

Dissertation an der Universität Stuttgart 1973.

Summary

Reef building and geological evolution of San Andrés Island (western Caribbean Sea, Colombia)

1. San Andrés, a small high-standing limestone island, situated near the western margin of the Caribbean Sea, rises steeply from a surrounding sea floor about 2000 m deep. It lies near the course of the Caribbean Current, some 80 km off the Middle American shelf. The island is formed by uplifted reef rock of Tertiary („San Andrés Formation“) and Pleistocene age („San Luis Formation“) as well as by Holocene terrestrial and beach deposits („Bay Formation“). It is surrounded by a Recent reef complex the barrier of which is exposed to the continuous attack of the high swells of the western Caribbean Sea. Thus San Andrés has the characteristics of a true oceanic reef island (figs. 1—6).

2. The Recent reef complex on the insular shelf consists of barrier, fringing and patch reefs as well as of adjacent lagoonal environments and rocky flats, all of them being characterized by a variety of benthic organism assemblages. Most reefs show rich coral growth with a clearly discernible coral zonation. The breaker zone of the barrier is dominated by luxuriant *Millepora* locally yielding space to the formation of true algal ridges. The scattered stony and soft corals of the rocky flats form poor coral communities, which are suppressed to varying degrees by seasonal abrasion. Off the west coast, no structural coral reefs are developed; the shelf is formed in this part by two submarine terraces with marginal escarpments at approximately 4 and 20 m of depth. The terraces are connected by a submerged cliff, undercut by a deep intertidal notch at the — 8 m level. The 20 m terrace continues as „fore-reef terrace“ in front of the barrier in the eastern and northern sections of the insular shelf. At the outer edge of the 20 m terrace the sea floor descends steeply — locally with vertical escarpments — to more than 100 m. The slope becomes less steep at greater depths. A detailed description of the whole reef complex is given with special regard to submarine topography and distribution of benthic organisms around the island (figs. 7—12).

SHOUT
SHARE **IT**



3. The processes of reef development and erosion, which were observed on the insular shelf, are analyzed in order to shed light on the morphogenetic evolution of the submarine topography. Benthic organism distribution is studied to determine the factors by which it is controlled as well as to evaluate its influence on the morphogeny of the insular shelf during the Pleistocene and Holocene (figs. 13—18, tab. 1).

4. The zonal distributions of benthic environments within the reef complex have been analyzed and interpreted leading to a more general scheme of zonation and classification of Recent western Caribbean reef complexes. The latter is based on the primary factors of benthic organism distribution: substrate, light intensity (depth) and exposure to waves. The three factors are greatly dependent on the existing submarine topography. According to the proposed classification three facies areas may be defined. Each of these is defined by the type of substrate and the related bottom communities: I. „Lagoonal facies“ — areas characterized by predominant sediment accumulation. II. „Reef facies“ — areas of frame-work growth of reef builders that may be accompanied by reduced sediment accumulation. III. „Hard ground facies“ — rocky flats devoid of both permanent sediment accumulation and frame-work growth.

Both lagoonal and reef communities show characteristic modifications of species composition due to decreasing intensity of light with depth resulting in a depth zonation. The depth zones of the „reef facies“ are defined by certain coral associations. Those of the „lagoonal facies“ could be based on certain benthic invertebrates, but these depth zones have not been elaborated in detail.

The shallow-water reefs above the wave base reveal a surprising pattern of zonation reflecting their relative degree of exposure to wave action. This permits the establishment of six reef types, each of which is characterized by a breaker zone on the reef crest and a complete or incomplete sequence of wave zones in front and back of the crest. A wave zonation has also been recognized in lagoonal environments and on rocky flats. Reef types and lagoonal wave zones are readily chartable units. This relatively simple pattern may be locally disturbed — though still recognizable — by the interference of secondary factors of benthic organism distribution such as periodic oscillations in local regime of temperature, salinity and O_2 content of nearshore waters, inclination of substratum, seasonal abrasion, position of sea floor at or above low spring tide level and interference of other organisms (figs. 19—23, tab. 2—5). The observations that led to this classification were supplemented by field studies at other western Caribbean localities.

5. With the above classification scheme in mind the late Pleistocene (presumably Riss-Würm = Sangamon interglacial) reef complex of San Andrés Island has been examined and interpreted. Its basic morphologic elements were a reef barrier and a lagoon basin, both approximately in the same position as in the Recent reef complex. The submerged part of the present day island formed a shallow flat. There is evidence that the breaker zone of the barrier reef was composed mainly of *Acropora palmata* and was submerged to more than 8 m during most of the deposition time. Therefore, it has provided only limited protection to the coral communities that form the Pleistocene deposits on today's insular flat. Towards the end of deposition of Pleistocene limestone there seems to have been an accelerating rise of the sea level from 7 m to about 14 m and more above the present one (figs. 27, 28).

6. The Tertiary outcrops comprise an estimated 500 m of Oligocene (?) to Miocene lagoon deposits with scattered coral communities. During that time San Andrés evidently was a true atoll resulting from subsidence. The atoll rim is not exposed today, but probably underlies the Quaternary rocks some distance inward from the outer edge of today's insular shelf (fig. 24a).

7. Rich scleractinian faunas have been collected from the Tertiary, the Pleistocene and Recent reef complexes (tables 6, 9, 10). Although the Pleistocene and Recent faunas seem to be basically similar in species composition, there are marked differences in abundance of the individual species. Four common West Indian coral genera, *Solenastrea*, *Cladocora*, *Oculina* and *Tubastrea* were not found among the Recent fauna of San Andrés. They seem to be absent too from the Pleistocene deposits. An exotic faunal element, *Pocillopora*, was collected *in situ* from associations of undoubtedly late Pleistocene age, where this coral is locally common in patches. It most closely resembles *Pocillopora palmata*, a hermatypic species that is believed to be restricted to the Pleistocene and Recent of the eastern tropical Pacific.

8. Based on the limited evidence available it has been inferred, that the islands and atolls of the western Caribbean originated from subsiding volcanoes bound to fracture zones on the sea floor. In the case of San Andrés, at least, the atoll was subject to tilting toward the east in late Tertiary or earliest Pleistocene time. The emerging reefs and lagoonal deposits of San Andrés have been mostly bevelled during the recurrent Pleistocene transgressions. The following successive Pleistocene and

Holocene stages of island evolution have been documented: I. Barrier approximately at the outer edge of the insular shelf. II. Sea level lowering to more than -20 m, followed by transgression with slowly rising sea level to -8 m (formation of the fore-reef terrace and today's submarine cliff). III. Flooding of the cliff and renewed planation during slowly rising sea level until the $+14$ m level was reached, followed by deposition of late Pleistocene (presumably Riss-Würm = Sangamon interglacial) reef complex. At this time the barrier was located along the flooded submarine cliff at the inner margin of the 20 m terrace. IV. Emergence of the late Pleistocene reef complex as a consequence of the lowered sea level during Würm (= Wisconsin) glaciation and renewed flooding of major parts of the reef complex towards the end of the Holocene transgression. Formation of the Holocene 4 m terrace. Re-establishment of new coral reefs according to available submarine topography, i. e. predominantly on the relics of late Pleistocene reefs forming topographic highs. Assuming rather constant conditions during a prolonged geological period, the gross geological evolution of the island has been tentatively extrapolated to the geological future, the result being an atoll-like reef structure similar in outline to the one that existed during Tertiary time (figs. 29 a—l).

Zusammenfassung

San Andrés, eine tropische, ozeanische Kalksteininsel, wird sowohl von tertiären und pleistozänen Riffgesteinen als auch von holozänen Lockersedimenten aufgebaut. Auf ihrem bis zu mehrere Kilometer breiten Insularschelf hat sich ein ausgedehnter holozäner Riffkomplex mit Wallriff, Lagune, Fleckenriffen und Saumriffen gebildet. Die Insel entwickelte sich aus einem tertiären Atoll, welches im Jungtertiär oder Altpleistozän nach E verkippt, dabei im W herausgehoben und durch spätere pleistozäne Transgressionen in verschiedenen Höhenlagen infolge Terrassierung weitgehend abgetragen wurde.

Nach eingehender Beschreibung des rezenten Riffkomplexes werden Ursache und Wirkung von Benthosverteilung, Sedimentations- und Erosionsvorgängen sowie die morphogenetischen Prozesse auf dem heutigen Insularschelf beobachtet und diskutiert. Aufbauend auf diesen Untersuchungen wurde der Versuch gemacht, den rezenten Riffkomplex nach faziellen und ökologischen Gesichtspunkten zu untergliedern. Dabei ergaben sich 3 wohldefinierte Faziesseinheiten, welche in eine Anzahl von meist deutlich gegeneinander abgrenzbaren Ökozonen unterteilt werden können. Ausgehend von diesen Ergebnissen im rezenten Riffkomplex werden die pleistozänen und tertiären Korallenkalke untersucht, gegliedert und ökologisch interpretiert. Die heute nur noch reliktartig erhaltenen fossilen Riffkomplexe ließen sich dadurch wieder größtenteils rekonstruieren.

Die jungpleistozäne und die rezente Korallenfauna entsprechen einander weitgehend in der Artzusammensetzung. Jedoch bestehen auffallende Unterschiede in der Häufigkeit des Auftretens der Arten. Bemerkenswert sind Funde der Riffkorallengattung *Pocillopora*, welche fleckenweise vergesellschaftet mit westindischen Korallen von unzweifelhaft jungpleistozänem Alter angetroffen wurde. Die gefundenen Kolonien zeigen große Ähnlichkeit mit *Pocillopora palmata*, einer Art, die bisher nur aus dem Pleistozän und rezent aus dem ostpazifischen Raum bekannt ist.

Aus der zeitlichen Abfolge der Terrassenbildungen und der Verteilung der fossilen und rezenten Riffe wurde die morphogenetische Entwicklungsgeschichte der Insel abgeleitet. Dabei lassen sich für verschiedene Zeitabschnitte noch heute Küstenlinien und die Lage von Riffen und Lagune angeben.

Resumen

San Andrés, una isla oceánica en el mar Caribe occidental está formada por depósitos arrecifales y subarrecifales de edad terciaria hasta pleistocena y también de sedimentos porosos holocenos. Un complejo arrecifal reciente formado por un arrecife de barrera, una laguna como también por arrecifes costeros y lagunares rodea la isla, constituyendo una plataforma submarina de anchura variable. La isla se originó a partir de un atolón de edad terciaria el cual se inclinó hacia el E en el Plioceno o al comienzo del Pleistoceno, emergiendo por el borde occidental. La isla actual es un relicto de erosión causada por repetidas transgresiones durante el Pleistoceno con la consecuente creación de diferentes niveles de terrazas marinas.

Se describen con detalle los ambientes bentónicos, la topografía submarina y la distribución de los sedimentos en todo el complejo arrecifal reciente. Las observaciones submarinas realizadas permiten también discutir los factores generales que controlan la formación de un complejo arrecifal. Partiendo de estos resultados el autor trata de establecer una clasificación de los ambientes arrecifales y subarrecifales basándose en los factores ecológicos predominantes que controlan la distribución de los organismos bentónicos más importantes. De esta manera se obtienen tres unidades

faciales bien definidas. Estas se pueden subdividir en una serie de zonas ecológicas. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el complejo arrecifal reciente, se investigan y interpretan las calizas coralinas pleistocenas y terciarias. De esta manera es, en parte, posible reconstruir los complejos arrecifales fósiles.

La composición específica de la fauna coralina pleistocena se parece mucho a la reciente, pero existen divergencias considerables en la frecuencia relativa de las especies. Como el hallazgo más notable en la fauna pleistocena se menciona la presencia del género *Pocillopora*. Colonias de este coral hermatípico se han encontrado en San Andrés asociadas con corales indicos occidentales del Pleistoceno joven. Sus características específicas y su forma de crecimiento muestran una clara afinidad con *Pocillopora palmata*. Aquella especie era conocida hasta ahora solamente en el Pleistoceno y el Reciente del Pacífico oriental.

Se reconstruye la evolución morfológica de la isla desde el Terciario hasta el Presente basándose en la sucesión de las terrazas pleistocenas y la distribución de los arrecifes fósiles y recientes. Para algunos períodos es posible indicar las posiciones exactas de las líneas de costa, de los arrecifes y de la laguna.

R é s u m é

San Andrés est une île océanique dans la partie occidentale de la Mer des Caraïbes qui s'est formée par l'accumulation de dépôts récifaux et subrécifaux d'âge tertiaire et pléistocène. Des sédiments littoraux holocènes ont également participé à l'édification de cette île. Un complexe récifal récent formé d'un récif-barrière, d'un lagon ainsi que de récifs frangeants et lagunaires entoure l'île en formant une plate-forme insulaire de largeur variable. L'île était formée au Tertiaire d'un atoll qui s'est incliné vers l'Est pendant le Pliocène ou au commencement du Pléistocène, ce qui a provoqué l'émergence de sa bordure occidentale. Aujourd'hui l'île est plus petite à cause des transgressions marines qui formèrent des terrasses pendant le Pléistocène.

Une description détaillée des milieux benthiques est donnée, ainsi que de la topographie sous-marine et de la distribution des sédiments dans tout le complexe récifal récent. Les observations sous-marines mettent en évidence des facteurs généraux qui contrôlent la formation d'un complexe récifal. En se basant sur la distribution des organismes benthiques l'auteur tente d'établir une classification des milieux récifaux et subrécifaux. Ainsi on peut distinguer trois types de faciès bien définis que l'on peut subdiviser en plusieurs zones écologiques. Les complexes récifaux du Tertiaire et du Pléistocène ont été classés et interprétés de la même manière.

La faune de coraux est presque aussi riche en espèces au Pléistocène que dans l'actuel. On note des différences considérables dans la fréquence relative des espèces entre le Pléistocène et l'actuel. D'autre part dans les affleurements pléistocènes on remarque l'apparition du genre *Pocillopora*. Ce corail a été trouvé *in situ* associé avec des espèces de coraux présentes dans la faune actuelle de la Mer des Caraïbes. Il montre des caractéristiques spécifiques très proches de *Pocillopora palmata*, une espèce considérée jusqu'à présent comme limitée au Quaternaire de l'Océan Pacifique oriental.

L'évolution paléogéographique de l'île a été reconstruite grâce à l'investigation des terrasses pléistocènes et des récifs fossiles. Il est notamment possible d'indiquer les variations de la position de la ligne côtière, des récifs et du lagon au cours de cette évolution.

I n h a l t

	Seite
Vorwort	7
1. Einführung	8
1.1. Lage der Insel und historischer Überblick	8
1.2. Vorausgegangene Untersuchungen und Problemstellung	10
1.3. Arbeitsmethode	13
1.4. Klima und Ozeanographie	14
1.4.1. Klima und Wetter	15
1.4.2. Oberflächenströmungen und Gezeiten	16
1.4.3. Wellengang: Seen, Dünung und Brandung	18
1.4.4. Meerwassertemperaturen und Salzgehalt	21
1.5. Die submarine Topographie im Meeresgebiet um San Andrés	24

2. Der Insularschoff: Regionale Beschreibung des rezenten Riffkomplexes	26
2.1. Der Nordostabschnitt zwischen „Snapper Shoal Channel“ und „Big Channel“	27
2.1.1. Bootskanal	27
2.1.2. Saumriff „Little Reef“	28
2.1.3. Lagune mit Fleckenriffen	32
2.1.4. Wallriff „Big Reef“	33
2.1.5. Vorriff-Terrasse (20 m-Terrasse) und Außenabhang	35
2.2. Der Ostabschnitt zwischen „Big Channel“ und „Sound Bay“	36
2.2.1. Die Saumriffe vor „Paradise Point“ und vor „Cotton Cay“	36
2.2.2. Die Lagune mit Fleckenriffen	38
2.2.3. Wallriff („East Reef“), Vorriff-Terrasse und Außenabhang	40
2.2.4. Südende des Wallriffes („Half-a-Reef“) und Vorriff-Terrasse	43
2.2.5. Der Außenabhang bei „Entrance“	44
2.2.6. Saumriff vor San Luis („Broken Ground“) und Vorriff-Terrasse	44
2.2.7. „Pallat Bank“	45
2.3. Der Südostabschnitt zwischen „Sound Bay“ und „South Channel“	46
2.3.1. Von „Sound Bay“ bis südlich „Smichinal“	46
2.3.2. „Bocatora Hole“	47
2.3.3. Von „Tana“ bis „South Channel“	47
2.4. Der Westabschnitt von „South Channel“ bis „German Point“	48
2.4.1. Küstenkliff	49
2.4.2. 4 m-Terrasse und Abbruch zur 20 m-Terrasse	49
2.4.3. 20 m-Terrasse und Außenabhang	50
2.5. Der Nordwestabschnitt von „German Point“ bis „Snapper Shoal Channel“	53
2.5.1. Wallriff „Bar“ mit Lagunenterrasse und Vorriff-Terrasse	53
2.5.2. „Blowing Rocks“	55
2.5.3. „Snapper Shoal Channel“ und „Table Rocks“	56
3. Der Insularschoff: Allgemeine Beschreibung der biologischen und morphogenetischen Vorgänge innerhalb des Riffkomplexes	56
3.1. Die Sedimentations- und Erosionsvorgänge im Bereich des Insularschoffes	56
3.1.1. Riffwuchs	56
3.1.2. Primäre Sedimentbildung	59
3.1.3. Erosion und sekundäre Sedimentbildung	60
3.1.4. Sedimenttransport	61
3.1.5. Sedimentakkumulation	63
3.1.6. Sedimentumlagerung	65
3.1.7. Verfestigung	68
3.2. Die Einflüsse der Umweltfaktoren auf die Verteilung der Organismen im Riffkomplex	69
3.2.1. Lebensräume und geologische Funktion der Rifforganismen	69
3.2.2. Einflüsse der Sedimentations- und Erosionsvorgänge	70
3.2.3. Einflüsse der submarinen Topographie	74
3.2.4. Einflüsse von Wellen, Brandung und Strömungen	77
3.2.5. Einflüsse von Tieren auf die Benthosverteilung	82
3.3. Die Ausbildung der submarinen Topographie seit der holozänen Überflutung des Insularschoffes	84
3.3.1. Ausbildung des Profils der Kalksteinküste	84
3.3.2. Klifftransgression und Terrassenbildung	88
3.3.3. Die holozäne Riffbildung und ihre Ursachen (Entstehung des Wallriffes)	92
3.3.4. Rinnensysteme im Bereich des Insularschoffes und ihre Bildung	94
4. Der Insularschoff: Fazill-ökologische Gliederung des rezenten Riffkomplexes	98
4.1. Wechselwirkung zwischen physikalischen, geologischen und biologischen Faktoren in einem Riffkomplex	98
4.2. Untergliederung des Riffkomplexes in Faziesbereiche	102
4.3. Untergliederung der Riff-Fazies	104
4.3.1. Tiefenzonen und Tiefenbereiche	104
4.3.2. Brandungsriff-Typen und Wellenzonen	106
4.3.3. Abrasions-Wellenzonen	113

4.3.4. Strömungszonen	116
4.3.5. Wellenzonen-Lücken und Zonenvertretung	116
4.4. Untergliederung der Lagunen-Fazies	120
4.4.1. Tiefenbereiche und Tiefenzonen	120
4.4.2. Wellenzonen	121
4.4.3. Strömungszonen	122
4.4.4. Wellenzonen-Lücken und Zonenvertretung	123
4.5. Untergliederung des Hartgrundes	123
5. Das Pleistozän (San Luis-Formation)	123
5.1. Morphologie, Petrographie und Tektonik	123
5.1.1. Morphologie: Terrassenbildungen, Kliffe und Hohlkehlen	123
5.1.2. Petrographie der pleistozänen Kalke: Aufbau, Verbreitung und Untergliederung	128
5.1.3. Jungpleistozäne Störungen	130
5.2. Beschreibung des jungpleistozänen Riffkomplexes	131
5.3. Faziell-ökologische Analyse	133
5.4. Altersstellung der Pleistozän-Ablagerungen	135
5.5. Rekonstruktion von pleistozänen Meeresspiegelschwankungen	136
6. Das Tertiär (San Andrés-Formation)	138
6.1. Morphologie, Petrographie und Tektonik der tertiären Ablagerungen	138
6.1.1. Morphologie	138
6.1.2. Petrographie	138
6.1.3. Tektonik	139
6.2. Beschreibung des tertiären Riffkomplexes	140
6.2.1. Lagune	141
6.2.2. Korallenrasen	143
6.2.3. Riffe	144
6.3. Faziell-ökologische Analyse der tertiären Kalke	144
6.4. Altersstellung der Tertiär-Ablagerungen	146
7. Bemerkungen zur fossilen und rezenten Fauna	146
7.1. Die Fauna des Tertiärs	146
7.1.1. Korallen	146
7.1.2. Mollusken und Seeigel	148
7.2. Die Fauna des Quartärs	150
7.2.1. Korallen (Hydrozoa und scleractine Anthozoa)	150
7.2.2. Mollusken und Seeigel	158
8. Die geologisch-geomorphologische Entwicklung der Insel	158
8.1. Regionale tektonische Anlage und präquartäre Entwicklung	158
8.1.1. Regionale tektonische Anlage	158
8.1.2. Entwicklung vom hypothetischen Vulkanstadium zu einem jungtertiären Atoll	159
8.1.3. Jungtertiäre bis altpleistozäne (?) Verkipfung	159
8.2. Morphogenese von Insel und Insularschelf unter dem Einfluß pleistozäner Transgressionen	160
8.2.1. Bildung von Hochterrasse und Mittelterrassen	160
8.2.2. Bildung der Älteren Niederterrasse und der Vorriff-Terrasse (Pleistozän I—II)	160
8.2.3. Bildung der Jüngeren Niederterrasse (Pleistozän III) und Regression in der Jüngeren Würmeiszeit (Pleistozän IV)	162
8.3. Der holozäne Meeresspiegelanstieg, der heutige Zustand und Ausblick auf die zukünftige Entwicklung der Insel	163
8.3.1. Der holozäne Meeresspiegelanstieg	163
8.3.2. Der heutige Zustand und gegenwärtige Entwicklungstendenzen	163
8.3.3. Ausblick auf die zukünftige Entwicklung der Insel	166
Nachtrag	168
Literatur	175
Tafeln	182

Vorwort

Korallenriffe stehen seit rund 150 Jahren im Brennpunkt des Interesses und der Kontroversen von Naturwissenschaftlern, da die Diskussion ihrer Bildung Fragen aufwarf, die über die Geomorphologie hinausgehen und weit in Gebiete der Ökologie, Geologie und Ozeanographie übergreifen.

Während bisher die meisten, vor allem älteren Riffuntersuchungen im Bereich des Indopazifiks vorgenommen wurden, sind umfangreichere Untersuchungen an Riffen des Karibischen Meeres erst in jüngerer Zeit veröffentlicht worden. Es war daher für mich von besonderem Reiz, einer Anregung von Herrn Prof. Dr. O. F. GEYER zu folgen und im Jahre 1968 mit den Untersuchungen in den damals noch so gut wie unbekannten rezenten Riffen des westlichen Karibischen Meeres zu beginnen.

Die vorliegende Arbeit faßt die wesentlichen Untersuchungsergebnisse eines fast 3-jährigen Forschungsaufenthaltes im Inselgebiet von San Andrés und Providencia sowie in den Riffgebieten an der kolumbianischen Küste zusammen. Bei der Durchführung der Geländearbeiten und der Bestimmung vor allem des fossilen Fundmaterials wurde mir wertvolle Hilfe von verschiedenen Seiten zuteil. Ich danke den Herren Prof. Dr. R. PFAFF † (Cartagena, Kolumbien) für die Einführung in die rezente karibische Korallenfauna und in die Riffe seines Untersuchungsgebietes auf den Rosario-Inseln, Dr. R. BIRENHEIDE (Frankfurt a. M.) und Dr. H. ZIBROWIUS (Marseille) für freundliche Hinweise, Dr. J.-P. CHEVALIER (Paris) für die Überprüfung bzw. Bestimmung verschiedener fossiler Korallen, Prof. Dr. O. F. GEYER (Stuttgart), der selbst das Untersuchungsgebiet besuchte, für die Unterstützung bei der Fossilbestimmung sowie Prof. Dr. J. WELLS (Ithaca, N.Y.) für einen brieflichen Kommentar zu Fotografien von 3 fossilen Korallen.

Zu danken habe ich ferner für die freundliche Erlaubnis zur Durchsicht folgender Korallensammlungen: Hessisches Landesmuseum Darmstadt durch Herrn Dr. G. SCHEER, Rijksmuseum van Natuurlijke Historie, Leiden, durch Frau Dr. M. WIJSMAN-BEST, Rijksmuseum van Geologie en Mineralogie, Leiden, durch Fräulein Dr. G. E. DE GROOT, Zoölogisch Museum Amsterdam durch Herrn Dr. P. J. ROOS und Herrn Dr. R. W. M. VAN SOEST, Herr Dr. P. H. DE BUISSONJÉ, Geologisch Instituut, Universiteit van Amsterdam, machte mir sein gesamtes, umfangreiches Fossilmaterial von den niederländischen „Inseln unter dem Winde“ zugänglich und stellte mir verschiedene Stücke für vergleichende Untersuchungen leihweise zur Verfügung. Das Departamento de Geología der Universidad Nacional de Colombia überließ mir durch freundliche Vermittlung von Herrn Prof. Dr. F. CEDIÉL (Bogotá) dankenswerterweise für die Dauer der Untersuchungen die meisten der verwendeten Luftbilder. Herr Dr. K. KAUFMANN (Santa Marta, jetzt Gießen) gewährte wiederholt freundliche Aufnahme im Instituto Colombo-Alemán in Santa Marta während meiner Untersuchungen an der kolumbianischen Festlandsküste.

Herr Prof. Dr. W. G. MCINTIRE (Baton Rouge, La.) ließ mir eine größere Anzahl von „Technical Reports“ des Coastal Studies Institute während der Geländearbeiten nach San Andrés zukommen. Herr G. MENDIETA (Cartagena), Direktor der „Interoceánica de Cabotaje“, gewährte großzügigerweise Gratisüberfahrten auf den Frachtern „Bahía Manaure“ und „Bahía Sanquianga“ zwischen San Andrés und Cartagena und ersparte mir dadurch vor allem bei der Rückreise erhebliche Unkosten, die bei Luftfracht des umfangreichen Sammlungsmaterials sowie der Ausrüstungsgegenstände entstanden wären. Beiden Herren sei für ihre Unterstützung vielmals gedankt.

Weiterhin gilt mein Dank den Herren Dr. G. BLOOS (Ludwigsburg), Dr. W. SCHALL und Dr. P. WAGENPLAST (beide Stuttgart) für kritische Durchsicht des Textes vor und während der Drucklegung, sowie den Herren Dr. J. EDWARDS (Baton Rouge, La.), Dr. P. THOMPSON (Bern/Vancouver), Dipl.-Geol. J. MOJICA (Stuttgart/Bogotá) und Dr. M. SEPTFONTAINE (Genf) für Überprüfung bzw. stilistische Überarbeitung der fremdsprachigen Zusammenfassungen und Fräulein I. LEITELT (Stuttgart) für das Schreiben des Manuskriptes.

Gerne gedenke ich ferner der gastfreundlichen Aufnahme durch die Inselbevölkerung von San Andrés und Providencia und deren bereitwillige Unterstützung der Geländearbeiten. Außerdem danke ich Herrn W. KARRASCH, Graphiker/Restaurator am Institut für Geologie und Paläontologie in Stuttgart, besonders herzlich für die in monatelanger Kleinarbeit angefertigten Zeichnungen sowie Herrn W. FRECH für die Ausführung von Fotoarbeiten.

Die Geländeuntersuchungen wurden möglich durch ein Forschungsstipendium des „Deutschen Akademischen Austauschdienstes“ in Bad Godesberg. Die Ausarbeitung und eine weitere Reise nach San Andrés und Providencia im April und Mai 1973 wurden durch ein Promotionsstipendium nach dem Bundesförderungsgesetz finanziert, woran an dieser Stelle nochmals dankbar erinnert sei.

Nicht zuletzt sei dankbar vermerkt, daß durch das Entgegenkommen von Herrn Prof. Dr. B. ZIEGLER, Direktor des Staatlichen Museums für Naturkunde in Stuttgart, die vorliegende Arbeit in ungekürzter Form veröffentlicht werden konnte.

1. Einführung

1.1. Lage der Insel und historischer Überblick

Die Inseln San Andrés und Providencia sowie eine Anzahl unbewohnter Atolle bilden einen ausgedehnten Archipel, der im westlichen Karibischen Meer dem Schelf Nikaraguas auf einer Erstreckung von mehr als 500 km vorgelagert ist (Abb. 1 und 2). Die Inselgruppe gehört trotz ihrer geographischen Lage vor der Küste Nikaraguas aus historischen Gründen zum Territorium der Republik Kolumbien. Die Hauptinsel San Andrés, vielfach auch noch unter der alten Bezeichnung Saint Andrews Island bekannt, ist Sitz der lokalen Regierung. 87 km NNE liegt die Insel Providencia oder Old Providence Island mit der Nachbarinsel Sta. Catalina. San Andrés, die größere und dichter besiedelte der beiden Inseln, ist mehr als 12 km lang, über 3 km breit und ausnahmslos aus Kalkstein aufgebaut. Sie zeigt im Gegensatz zur Vulkaninsel Providencia ein sanftes Relief mit Höhen unter 100 m. San Andrés liegt zwischen $12^{\circ}28'$ und $12^{\circ}36'$ nördlicher Breite und $81^{\circ}40'$ und $81^{\circ}44'$ westlicher Länge und befindet sich damit 200 km vor der Küste Mittelamerikas, 720 km SSW von Jamaika, 400 km NNW von Colón in Panamá sowie 720 km WNW von der Küste Kolumbiens bei Cartagena. Ein internationaler Flughafen verbindet die Insel mit fast allen wichtigen Städten Kolumbiens, Mittelamerikas und mit Miami.

Die Geschichte der Besiedlung der Inselgruppe ist kurz und bewegt. Die kleinen Sandinseln der Atolle waren von jeher unbewohnt, wenn man von Leuten wie Pedro SERRANA absieht, der auf dem später nach ihm benannten Serrana Cay im 16. Jahrhundert als Schiffbrüchiger 7 Jahre lang bei Schildkrötenfleisch überlebte (ORTEGA-RICAURTE 1944, 285; PARSONS 1964, 145; RUIZ-RIVAS 1948, 85–86). Aber auch San Andrés und Providencia waren zur Zeit ihrer Entdeckung im frühen 16. Jahrhundert noch unbesiedelt, wurden aber offensichtlich von den Indianern der Miskito-Küste (oder Mosquito-Küste) zu gewissen Jahreszeiten bei Fischzügen aufgesucht. Als erste halbseßhafte Siedler hatten hier holländische Schmuggler und Freibeuter ihre Stützpunkte errichtet, darunter ein Kapitän BLAUVELT, der Gründer der Stadt Bluefields im heutigen Nicaragua. Um 1629 gründeten englische Puritaner eine kurzlebige Kolonie, in den Jahren danach waren beide Inseln Streitobjekt der spanischen Krone und zahlreicher englischer Piraten, unter ihnen EDUARD MANSVELDT und HENRY MORGAN (vgl. auch EXQUEMELIN 1678). Letzterer machte sie zum Ausgangspunkt seines erfolgreichen Raubzuges nach Panamá im Jahre 1671 und kehrte danach mit einer riesigen Goldbeute wieder in den Archipel zurück. Sein persönlicher Anteil an dem Goldschatz wurde nach der Überlieferung auf den Inseln vergraben und hat seither bis in die jüngste Zeit immer wieder Schatzsucher angelockt.

Im Jahre 1806 stand San Andrés letztmalig kurzfristig unter britischer Herrschaft, als Captain JOHN BLIGH die Insel mit dem Schiff „Surveillance“ kampflos für England besetzte. In den Jahren 1818–1821, gegen Ende der südamerikanischen Befreiungskriege von der spanischen Kolonialherrschaft, dienten die Inseln Louis AURY, einem französischen Freibeuter aus Haiti, und seinen Gefolgsleuten als Stützpunkt. 1822 schließlich wurde die Inselgruppe durch freie Entscheidung der Bewohner Teil der neugegründeten Republik von Neu-Granada, aus welcher später Kolumbien hervorging.

Bedingt durch die Geschichte ihrer Besiedlung und die seit jeher starken Beziehungen zu den britischen Antillen bzw. den Vereinigten Staaten sowie durch die

auffällige Isolierung vom spanisch-sprechenden Amerika, mit dem die Inseln seit rund 300 Jahren fast ununterbrochen politisch verbunden waren, konnte sich die spezifisch karibisch-englische Komponente in der Inselkultur über viele Generationen hinweg behaupten. Dies drückt sich bis heute u. a. in der Umgangssprache, Architektur und zahlreichen Bräuchen aus (vgl. WILSON 1973).

Die ehemals dichte Bewaldung beider Inseln führte schon früh zur Ansiedlung jamaikanischer Holzfäller und Schiffsbauer. Später wurde vor allem auf San Andrés in starkem Maße Baumwolle angebaut, und nach der Sklavenbefreiung 1853 nahm die Kokosnuß-Produktion hier einen raschen Aufschwung, so daß die Insel in ihrer besten Zeit, um die Jahrhundertwende, allein rund die Hälfte des Kokosnuß-Importes der Vereinigten Staaten erzeugte (PARSONS 1964, 68).

Seit Erklärung der Inseln zum Freihafen im Jahre 1953 und seit Eröffnung des Flughafens 1955 hat der Tourismus immer mehr an wirtschaftlicher Bedeutung gewonnen. Die jahrhundertelange Isolierung des Archipels fand damit ein Ende. Seit-her ist die Bevölkerung von San Andrés von 3700 (1951) auf etwa 21 000 Einwohner (1974) angewachsen, vorwiegend durch Zuwanderer vom kolumbianischen Festland, die sich fast ausschließlich im Hauptort „North End“ (oder „San Andrés“) niederließen. Die plötzliche Konfrontation der ehemals weitgehend isoliert lebenden Insel-

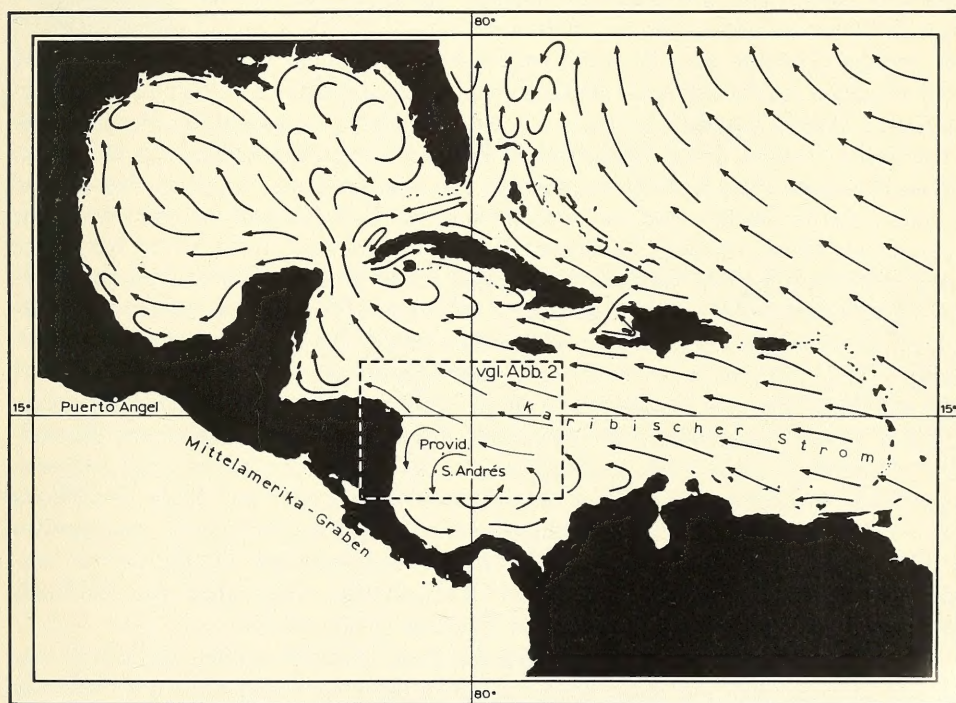


Abb. 1. Übersichtskarte von Westindien mit der Lage des kolumbianischen Archipels von San Andrés und Providencia. Es sind die im Sommer vorherrschenden Oberflächenströmungen eingezeichnet (nach U.S. Nav. Oceanogr. Off. 1965, vereinfacht).

Map of the West Indies showing situation of the Colombian Archipelago of San Andrés and Providencia and surface current pattern prevailing during summer (based on U.S. Nav. Oceanogr. Off. 1965, simplified).

bevölkerung meist protestantischer Konfession und anglo-afrikanischer Herkunft und Kultur, die heute noch ein karibisches Englisch als Umgangssprache spricht, mit den Einwanderern und Lebensformen des südamerikanischen Festlandes hat zu starken kulturellen Veränderungen und Konflikten innerhalb der Insulanergemeinschaft geführt, deren Auswirkungen heute noch nicht zu überschauen sind (vgl. PRICE 1954; WILLEMS 1964).

1.2. Vorausgegangene Untersuchungen und Problemstellung

Trotz ihrer Abgelegenheit war die Inselgruppe in den letzten 40 Jahren schon mehrfach Ziel verschiedener naturwissenschaftlicher Untersuchungen. PILSBRY (1931) bestimmte die Landschneckenfauna beider Inseln und erkannte als erster einwandfrei, daß Providencia vulkanischen Ursprungs, San Andrés aber ein gehobenes Korallenriff ist. WURTZ (1950) brachte weitere Daten zur Verbreitung der rezenten Landschnecken des Archipels. Studien von MORA (1940), ORTEGA (1944) und LOBOGUERRERO (1954) behandelten geographische Aspekte der Inselgruppe. BOND (1950) beschrieb die Avifauna, FOWLER (1944; 1950) die Fische, DUNN & SAXE (1950) die Reptilien und TORO (1929; 1930) sowie PROCTOR (1950) die Landpflanzen der Inseln. KAPRAUN (1972) gab eine Liste der marinen Algen von San Andrés. Eine erste geologische Untersuchung stellte die Studie von SARMIENTO-ALARCÓN & SANDOVAL (1953) dar, welche Gerüchte über Phosphatvorkommen auf beiden Inseln überprüften und erste Angaben zur Stratigraphie und zum geologischen Aufbau des Archipels machten. MITCHELL (1955) besuchte Providencia und gab eine petrographische Beschreibung einer Reihe dortiger Erstarrungsgesteine. Er erwähnte auch verschiedene Vulkanite, die nach Angabe eines Gewährsmannes aus San Andrés stammen sollten. Jedoch sind sie mit Sicherheit nicht von dieser Insel, da hier nur Kalkgesteine auftreten; vielmehr kommen sie allem Anschein nach ebenfalls von Providencia (WEYL 1966, 308). Eine geographisch-geologische Beschreibung beider Inseln gibt HUBACH (1956). In Providencia unterschieden PAGNACCO & RADELLI (1962) verschiedene vulkanische Gesteinsfolgen, die sie in ein Zeitschema eingliederten und auf einer Kartenskizze darstellten. BÜRGL (1961) bestimmte an Hand von Foraminiferen und Mollusken die geologische Altersstellung der die Insel San Andrés aufbauenden Kalkgesteine. MILLIMAN & SUPKO (1968) untersuchten die submarine Topographie und magnetische Anomalien im Seegebiet um San Andrés. BARRIGA et al. (1969) faßten die bisherigen wissenschaftlichen Ergebnisse zusammen und brachten neue Daten zur Flora und Fauna von San Andrés. Erste Studien an den Korallenriffen wurden von 4 umliegenden Atollen (MILLIMAN 1969) und von San Andrés (GEISTER 1969; 1972a; 1973b) veröffentlicht. Eine Zusammenfassung der wechselvollen Geschichte des Archipels schließlich gaben RUIZ-RIVAS (1948) und PARSONS (1956; 1964).

Geologische Untersuchungen an rezenten Korallenriffen wurden vielfach in der Absicht durchgeführt, auf diese Weise zu einem besseren Verständnis des Aufbaues fossiler Riffe zu gelangen. Dabei zeigte sich aber in der Regel, daß die rezenten Riffe nur mangelhafte Abbilder ihrer fossilen Gegenstücke sind. Das scheint einmal daran zu liegen, daß unsere Hauptkenntnis fossiler Riffe aus der Untersuchung von Ablagerungen flacher Schelfmeere herrührt, deren Korallen unter hydrologischen und hydrodynamischen Bedingungen wuchsen, die sich grundlegend von denen der rezenten, pazifischen Atolle — also von echten, ozeanischen Riffen — unterscheiden, welche

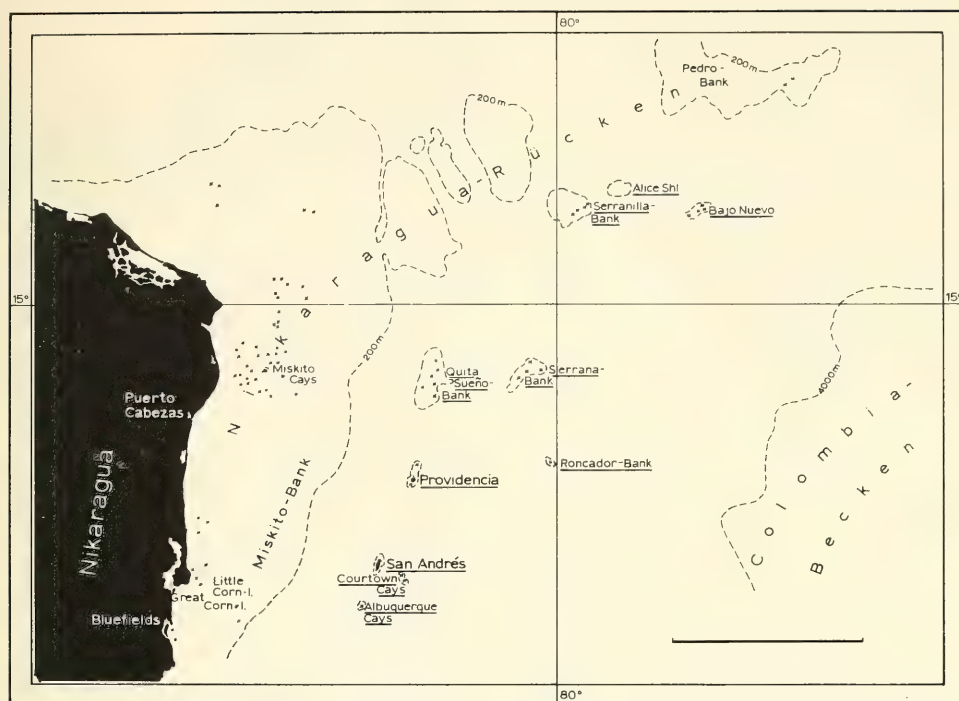


Abb. 2. Die Inseln und Atolle des Archipels von San Andrés und Providencia (unterstrichen) vor dem Kontinentalschelf Mittelamerikas (Maßstab: 200 km).

The islands and atolls belonging to the Archipelago of San Andrés and Providencia (underlined), lying off the Middle American continental shelf (Scale: 200 km).

immer noch eine der Hauptquellen für unsere heutige Kenntnis der rezenten Korallenriffe bilden. Zum anderen sind ozeanische Korallenriffe einschließlich ihrer Brandungszone nur selten fossil überliefert und beschrieben worden. Ein weiterer, noch wesentlicher Grund für die Verschiedenheit rezenten und fossiler Riffe ist in der Tatsache zu suchen, daß die Gesteinskörper vieler fossiler Riffe sich bei nur gering schwankendem Meeresspiegel im Laufe von Jahrhunderttausenden oder Jahrmillionen bilden konnten, während die rezenten Riffe noch immer in einem frühen Stadium ihrer Ansiedlung stehen, seit im Zuge des postglazialen Meeresspiegelanstiegs die See vor weniger als 5000 Jahren die Gebiete der heutigen Korallenriffe überflutete. In der seither verflossenen, geologisch sehr kurzen Zeit hat sich noch kein Gleichgewicht in der Riffdynamik einstellen können. Rezente Riffsedimentation und Riffwuchs überdecken nur mangelhaft die überlieferte Morphologie. Somit erscheinen Topographie und Besiedlung moderner Riffe für die Interpretation fossiler Riffe nur mit starken Einschränkungen geeignet.

Vergleicht man daher beispielsweise die Morphologie rezenten und fossiler Riffe, dann muß man versuchen, bei den rezenten Riffen diejenigen Einflüsse zu isolieren, die von der überlieferten Topographie der würmeiszeitlichen Landoberfläche herühren, auf der das rezente Riff aufwuchs. Dieser Versuch kann sich bei der Geländeuntersuchung in Atollriffen als sehr schwierig erweisen, da es hier meist keine zuverlässigen Anhaltspunkte dafür gibt, ob präholozänes Gestein unter Wasser aus-

streicht. Auch bei Saum- oder Wallriffen vor Vulkaninseln wie beispielsweise in Providencia oder Corn Island ist diese Entscheidung meist nicht einfach zu treffen, da die Basis der rezenten Riffe auch hier in der Regel nicht von unter Wasser austreichendem Vulkangestein, sondern von einer pleistozänen Riffstruktur oder einem Relikt hiervon gebildet wird. Dort, wo die Küsten jedoch aus pleistozänen Riffkalken aufgebaut werden, kann man gelegentlich das pleistozäne Gestein vom Küstenkliff bis in den Bereich des rezenten Riffes verfolgen und auf diese Weisen einen Eindruck von der Größenordnung der holozänen Riffbildung an solchen Stellen gewinnen. Dies ist auf San Andrés vor allem im Bereich der Westküste möglich, da hier der innere Insularschelf von einer flachen Abrasionsterrasse im pleistozänen Kalk gebildet wird, an deren Außenkante man heute verschiedene Stadien einer holozänen Riffbildung erkennen kann.

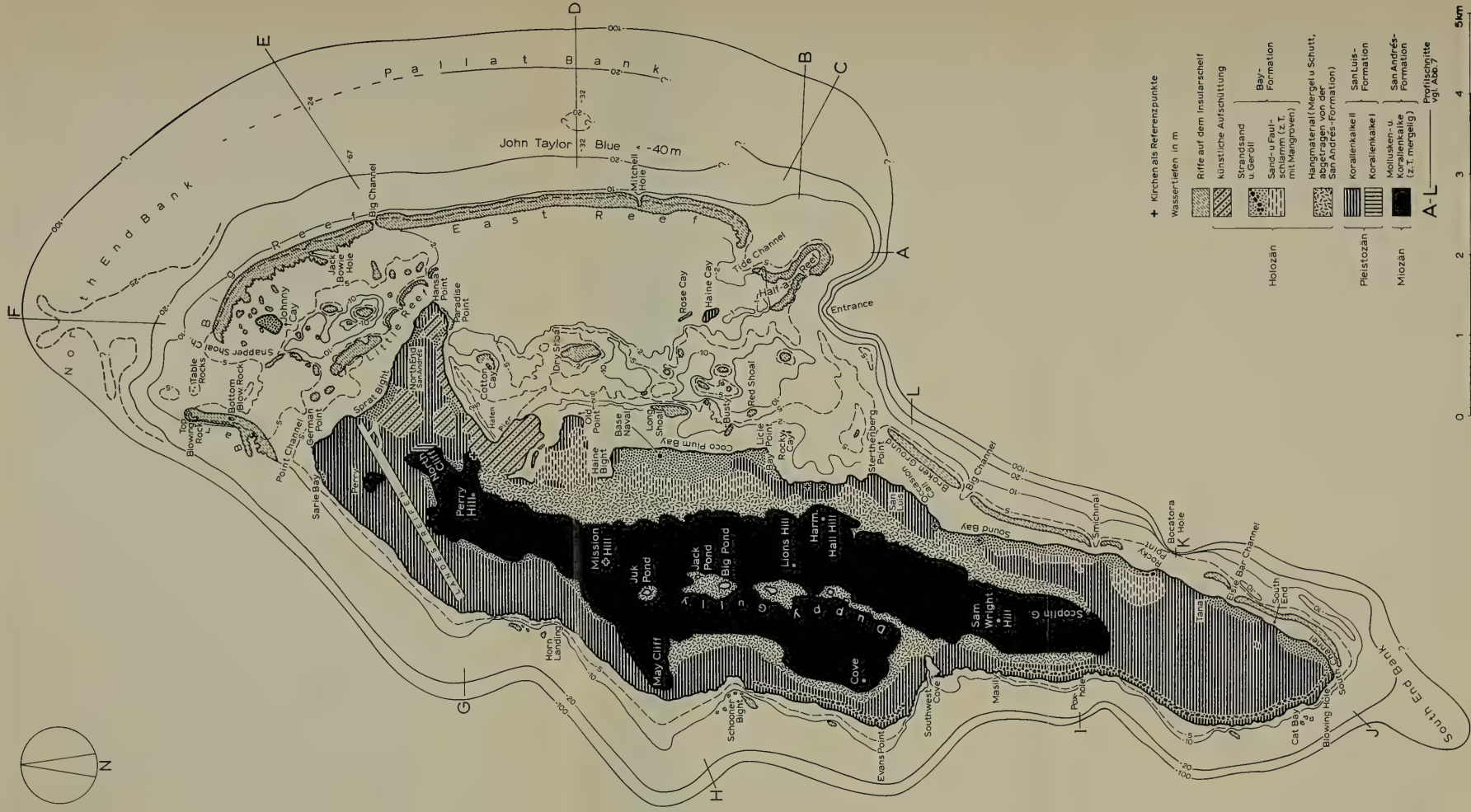
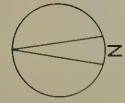
Außerdem läßt sich auf San Andrés beobachten, daß die Pleistozänkalke örtlich mehr oder weniger stark von tektonischen Brüchen durchkreuzt werden, welche teilweise zur Zeit der Ablagerung der Kalke gebildet wurden und heute durch tropfsteinartige Kalzit-Abscheidungen verfüllt sind. An Stellen, wo diese Störungen auftreten, sind sie in den Pleistozänkalken oft auch unter Wasser zu verfolgen, so daß man in solchen Bereichen mit Sicherheit keinen Kalkstein holozänen Alters vor sich hat. Auch derartige Beobachtungen können unter bestimmten Voraussetzungen in Riffnähe die Abschätzung des holozänen Beitrages zu den heutigen morphologischen Riffstrukturen erlauben und einen Einblick in das Relief der pleistozän-holozänen Grenzfläche geben. Daraus wiederum lassen sich u. U. die topographischen Ursachen ableiten, die ein Aufwachsen von Riffen in ganz bestimmten Bereichen der submarinen Plattform ermöglichten oder einen solchen Riffwuchs andernorts verhinderten.

Diese pleistozän-holozäne Grenzfläche entspricht der „Thurber-Diskontinuität“ (STODDART 1969, 468), welche bei der absoluten Altersbestimmung an Bohrkernen pazifischer Riffe entdeckt wurde. In San Andrés streicht sie über größere Erstreckung vor allem im Bereich der Vorriff-Terrasse und der 4 m-Terrasse frei aus, da sie hier nicht von holozänen Kalken überdeckt wird.

Da die Insel San Andrés sowohl von einem tertiären als auch von Teilen eines pleistozänen Riffkomplexes aufgebaut wird, lag es nahe, im rezenten Riff diejenigen Faktoren zu untersuchen, welche dort die Fazies- und Organismenverteilung bedingen, um dann an Hand des Ergebnisses die fossilen Riffe zu interpretieren. Terrassenbildungen, Diskordanzen und Kliffs im Bereich der Insel geben Hinweise auf Verschiebungen des Meeresspiegels und damit verbundene Überflutungen. Da sich die Abfolge der verschiedenen Ereignisse in den meisten Fällen ableiten läßt und man oft auch noch die veränderten Umrisse der Insel und die damalige Lage von Riff und Lagune erkennen oder abschätzen kann, wurde es möglich, im Anschluß an die ökologische Analyse der rezenten und fossilen Riffe eine Rekonstruktion der geologischen Entwicklungsgeschichte zu stellen.

Abb. 3. Geologische Karte von San Andrés und submarine Topographie des umliegenden Insularschelfes. Tiefenlinien in Metern.

Map of San Andrés showing island geology and submarine topography of surrounding insular shelf. Contour lines in meters.



+ Kirchen als Referenzpunkte

Wassertiefen in m

Riffe auf dem Inlandriff

Künstliche Aufschüttung

Standesand u. Geröll

Sand- u. Füll-
schuttung (z.B. mit Mangroven)

Bay-
Formation

Hangmaterial (Mergel u. Schluff,
abgetragen von den
San Andrés Formationen)

Koralienkalk

Koralienkalk

Mollusken- u.
Korallenkalk
(z.T. mergelig)

San Andrés-
Formation

San Andrés-
Formation

Postglaziale
vg. Abb. 7

A-L

0 1 2 3 4 5 km

1.3. Arbeitsmethode

Die Geländeuntersuchungen zur vorliegenden Arbeit wurden während eines Aufenthaltes auf der Insel von Juni 1968 bis September 1970 und während eines Besuches im April und Mai 1973 durchgeführt. Sie gliederten sich naturgemäß in Unterwasserbeobachtungen im Bereich des rezenten Riffkomplexes und in Untersuchungen der auf der Insel anstehenden Riffgesteine.

Die Untersuchungen im Bereich des Insularschelfes wurden fast ausschließlich von einem ortsüblichen Einbaumkanu aus durchgeführt, welches ich zusammen mit einem einheimischen Begleiter bediente. Die Unterwasserausrüstung bestand aus Tauchmaske, Schnorchel, Schwimmflossen, Tiefenmesser und Geologenhammer. Notizen wurden unter Wasser mit Bleistift auf einem Kunststoffbrettchen festgehalten. Eine Unterwasserkamera sowie ein Meßstock, der auch bei der Haifisch-Abwehr Verwendung fand, vervollständigten die Ausrüstung. Mit dieser Ausstattung konnten Tauchtiefen von rund 20 m und gelegentlich bis 25 m erreicht und dabei rezente Korallen aufgesammelt werden. Da das Wasser außerhalb der Riffe meistens sehr klar ist, können vom 20 m-Bereich aus die Verhältnisse am steilen Außenabhang des Insularschelfes bis in schätzungsweise 40 m Tiefe gut übersehen werden. Im Mai 1973 ergab sich die Möglichkeit für einen Tauchgang mit Preßluftgerät am Außenabhang bei „Poxhole“, welcher in rund 35 m Tiefe führte und bis dorthin eine flüchtige Inspektion der Korallenfauna erlaubte.

Der im Lee des Passates liegende Teil des Insularschelfes auf der Westseite der Insel war fast das ganze Jahr über für Unterwasseruntersuchungen zugänglich. Wegen seines recht gleichförmigen Aufbaues über die gesamte Längserstreckung beanspruchte diese Untersuchung jedoch verhältnismäßig wenig Zeit. Lediglich in der Periode der Nordwinde im Winter liegt auf der gesamten Westküste eine schwere Brandung, welche dann jegliche unterwassergeologische Arbeit in diesem Abschnitt unmöglich macht. Bei anhaltendem Passat ließ die dadurch bedingte starke Dünung und heftige Brandung keine Arbeit im Bereich des Wallriffes im E und NE zu, während die Fleckenriffe und Saumriffe im Bereich der Lagune im allgemeinen das gesamte Jahr über zugänglich waren. Die im N von San Andrés gelegenen „Blowing Rocks“ waren ständig einer ungewöhnlich starken Brandung ausgesetzt und deshalb nur an wenigen Tagen im Jahr zu betreten.

Im Laufe der zur Verfügung stehenden Zeit war es möglich, den Bereich des gesamten Insularschelfes schwimmend und tauchend zu erkunden. Zu diesem Zweck wurde das Riff in zahlreichen Traversen rechtwinkelig gequert und bis an den Außenabhang des Insularschelfes in rund 20 m Tiefe verfolgt. Außerdem wurde das Wallriff bzw. Saumriff sowohl auf der Lagunenseite als auch auf der Außenseite in der gesamten Länge abgeschwommen. Auf die gleiche Weise wurde mit dem submarinen Kliff vor der Westküste der Insel und mit dem größeren Teil des Außenabhanges vor allem im E und SW der Insel verfahren. Gegen Ende der Untersuchungen ergab sich die Möglichkeit, das Riff mit einem gemieteten Flugzeug zu überfliegen und dabei von verschiedenen Seiten auf rund 90 Diapositiven aufzunehmen.

Um die rezenten Riffe von San Andrés mit denen anderer Lokalitäten wenigstens des westlichen Karibischen Meeres vergleichen zu können, wurden die „Courtown Cays“ im ESE von San Andrés, Providencia, Great Corn Island vor der Küste Nikaraguas sowie verschiedene Riff-Lokalitäten an der kolumbianischen Atlantikküste, darunter die Islas del Rosario und die Gegend von Santa Marta, aufgesucht.

Außerdem bestand anlässlich eines Besuches auf der Halbinsel La Guajira im Nordosten Kolumbiens die Möglichkeit, das Saumriff vor Puerto Lopez flüchtig zu inspizieren, und 1973 ergab sich die Gelegenheit für weitere Vergleiche bei einem kurzen Besuch am Florida Reef Tract vor Key Largo.

Die Aufschlußverhältnisse im Bereich der Insel sind recht unterschiedlich. So läßt sich beispielsweise das Pleistozän in einem bis etwa 50 m breiten, vegetationsfreien Streifen zumindest an der West- und Nordküste durchgehend verfolgen, liegt aber im Inselinneren und vor der Ostküste vielfach von Sand, Bodenbildungen und Vegetation verdeckt und kann dann nur stellenweise in Karsthöhlen und Erdfällen untersucht werden. Die oberflächennahen Lagen der tertiären Kalke zeigen fast überall sehr starke Verwitterung, so daß sich gute Aufschlüsse nur an Steilabhängen im Bereich des zentralen Hügelrückens und in Erosionsrinnen sowie in Straßen- und Wegeinschnitten fanden.

Die Geländearbeiten verfolgten in erster Linie eine ökologische bzw. palökologische und geologische Zielsetzung. Daneben wurde jedoch versucht, eine möglichst vollständige, systematische Aufsammlung aller vorkommenden rezenten, pleistozänen und tertiären Korallenarten durchzuführen. Darüber hinaus wurden auch Mollusken gesammelt. Über die pleistozänen und rezenten Mollusken ist schon an anderer Stelle berichtet worden (GEISTER 1973a). Das gesamte, umfangreiche Sammlungsmaterial wird im Staatlichen Museum für Naturkunde in Stuttgart aufbewahrt.

Die Inseltopographie der hier beigegebenen Karte (Abb. 23) wurde aus der auf Lichtpausen erhältlichen Höhenlinienkarte von San Andrés vereinfacht übernommen, welche vom Ministerio de Obras Públicas in Bogotá 1964 im Maßstab 1 : 5 000 herausgegeben wurde. Die Darstellung der submarinen Topographie in Abb. 3 stützt sich teilweise auf die Tiefenangaben der Seekarte Nr. 1511 der britischen Admiralität, welche 1834 aufgenommen und später im Maßstab 1 : 28 900 gedruckt wurde. Weitere Tiefenmessungen wurden beim Tauchen im Laufe der Unterwasseruntersuchungen durchgeführt und deren Werte unter Verwendung von Luftbildern aufgetragen. Nach Fertigstellung dieser Karte erschien im Frühjahr 1972 eine Seekarte der kolumbianischen Marine im Maßstab 1 : 25 000, die gegenüber der alten Karte wesentliche Verbesserungen bringt. Bei der Anfertigung der beigegebenen Karten fanden verschiedene Luftbildserien im Maßstab 1 : 20 000, 1 : 10 000 und 1 : 5 000 Verwendung, welche am Instituto Geográfico „Augustín Codazzi“ in Bogotá erhältlich sind.

Zur Benennung der Lokalitäten wurden auf der Karte Abb. 3 bewußt die auf der Insel allein gebräuchlichen, englisch-sprachigen Benennungen gewählt und nicht die von BATEMAN (1968) und SANIN-VILA (1968) vorgeschlagenen, vielfach sachlich falschen spanischen Übersetzungen, da nur erstere bei einer Orientierung im Gelände von Nutzen sein können.

Bei der Beschreibung der Geologie von San Andrés wird entgegen den geologischen Gepflogenheiten mit der Beschreibung der jüngsten Gesteinsinformation, dem rezenten Riff, begonnen und zur nächstälteren Formation zurückgegangen. Dadurch ergibt sich eine Vereinfachung der Darstellung, da wesentlich mehr Beobachtungen aus dem rezenten Riff zur Interpretation der fossilen Riffe nötig sind als umgekehrt.

1.4. Klima und Ozeanographie

Klimatische und ozeanographische Einflüsse kontrollieren das Wachstum und die Entwicklung der Korallen und anderen Rifforganismen und bestimmen deshalb die Ausdehnung von Korallenriffen ebenso wie deren erosive Zerstörung. Da durch die

Vorgänge des Riffwuchses und der Erosion das heutige morphologische Erscheinungsbild von Küste und Insel entscheidend geprägt wurde, soll auf die zugrunde liegenden Faktoren hier etwas ausführlicher eingegangen werden.

1.4.1. Klima und Wetter

Die Ostküste Mittelamerikas und die ihr vorgelagerten Inseln gehören zum Bereich der wechselfeuchten Tropen und liegen südlich des nordatlantischen Roßbreitengürtels in der Passatregion. Hier sind die östlichen Winde im allgemeinen beständig, die jahreszeitlichen Schwankungen von Temperatur und Luftdruck gering. Das Wetter wird vorwiegend durch den Passat bestimmt, der die auf den Inseln bei Windstille herrschende feuchtwarne Schwüle spürbar mildert.

Niederschläge

In 14 aufeinanderfolgenden Jahren ergaben die Niederschläge auf San Andrés ein Jahresmittel von 1829,6 mm. Die jährlichen Niederschläge zeigen bemerkenswerte Schwankungen in den verschiedenen Jahren mit Extremwerten zwischen 500 und 4100 mm (BARRIGA et al. 1969, 16–17). Auf San Andrés dauert die Regenzeit von Mai bis Januar, mit den stärksten Niederschlägen in den Monaten Oktober bis Dezember. Von Februar bis April liegt eine kleine Trockenzeit, deren Dauer und Intensität von Jahr zu Jahr variieren kann.

Temperaturen

San Andrés hat sehr gleichmäßige, tropische Temperaturen mit einem höchsten Monatsmittel im August von $27,8^{\circ}\text{C}$ und dem tiefsten Monatsmittel im Februar mit $26,2^{\circ}\text{C}$ (BARRIGA et al. 1969, 21). Die täglichen Temperaturschwankungen sind gering, doch bringt ein mehrtägiger Dauerregen meist eine spürbare Abkühlung mit sich.

Wind

Der Passat tritt vor der Ostküste Mittelamerikas vorherrschend als Ostwind oder Ostnordost-Wind auf. Seine Nordkomponente zeigt sich hier vornehmlich in der Zeit von November bis Mai, so daß zeitweise ein reiner Nordost-Passat vorherrschen kann. Bis zum Sommer hin geht das Überwiegen des Nordost-Passates erheblich zurück, und der Wind weht dann in dieser Zeit mehr aus E.

Störungen des Windsystems werden gelegentlich durch die Erscheinungen der Norder und der tropischen Zyklone hervorgerufen. Während die passatischen Strömungen fast ständig wehen, treten die Norder oder Nordwinde völlig unregelmäßig auf, haben aber wegen ihrer oft Sturmstärke erreichenden Intensität eine große Bedeutung für die Küstenerosion und die Ökologie der Korallenriffe. Ihre Dauer schwankt ziemlich stark von $\frac{1}{2}$ Stunde bis zu einigen Tagen. In San Andrés treten sie bevorzugt in den Monaten November bis Januar auf. Der Dezember gilt wegen des Auftretens der Norder als sturmträchtigster Monat. März, April und September dagegen zeigen geringe Windgeschwindigkeiten und anhaltende Flauten, obwohl auch hierbei oft Abweichungen vorkommen.

Von den verschiedenen Hurrikanen, die die Insel in diesem Jahrhundert berührten, blieben der Bevölkerung besonders die letzten von 1940 und 1961 in Erinnerung. Durch seine südliche Lage bedingt, scheint San Andrés nur relativ selten von Hurrikanen verwüstet worden zu sein.

1.4.2. Oberflächenströmungen und Gezeiten

Die Oberflächenströmungen des Karibischen Meeres sind vorwiegend ostwestlich gerichtet und erhalten ihren Antrieb durch die Passatwinde. Der größere Teil des Nordäquatorialstromes tritt bei den Kleinen Antillen in das Karibische Meer ein und durchströmt es fast in seiner gesamten Erstreckung in westlicher Richtung als Karibischer Strom (Abb. 1).

Im W tritt durch Einwirkung der Orographie eine Umgestaltung ein, indem der Karibische Strom beim Auftreffen auf den Schelf der Miskito-Bank gegen N dreht und dabei seine Fließgeschwindigkeit erhöht. Außerdem tritt in der Bucht zwischen Nikaragua und Kolumbien ein linksdrehender Wirbel auf (Abb. 1), der allerdings von Dezember bis Mai schwächer entwickelt ist, wenn der Passat kräftig mit nördlicher Komponente weht (Dt. Hydrogr. Institut 1958, 152). Dieser großräumige Wirbel, der eine Maximalgeschwindigkeit von 2 Knoten erreicht (U.S. Naval Oceanogr. Off. 1965, 1), beherrscht das Bild der Meeresströmung im Bereich des Archipels von San Andrés und Providencia. Er ist außerhalb des Schelfes von San Andrés an SW-gerichteten Strömungen deutlich zu erkennen.

Innerhalb der submarinen Plattform der Insel San Andrés unterliegt diese SW-Strömung allerdings den Einflüssen des Landes und der submarinen Topographie der Korallenriffe und erfährt dadurch verschiedene Ablenkungen. Insbesondere hat der ständige Wassertransport durch die Brandung über das Wallriff und die Saumriffe eine Küstenlängsströmung parallel zum Riff und eine kräftige Rückflußströmung durch Riffquerkanäle zur Folge, die der Hauptströmung entgegensetzen kann. Auch wurde örtlich ein Umschlagen der Strömung innerhalb weniger Stunden beobachtet, das möglicherweise auf eine Überlagerung mit Gezeitenströmen oder auf eine Änderung der Windrichtung zurückzuführen ist.

Die bei den Unterwasseruntersuchungen im Bereich des Insularschelfes gemachten Strömungsbeobachtungen wurden in Abb. 4 wiedergegeben. Die Strömungsrichtung ergab sich aus der Richtung der eigenen Versetzung relativ zu einem bestimmten Punkt auf dem Meeresboden, welche während des Treibens im Wasser festgestellt wurde. Die Strömungsrichtung wurde dann mit einem Unterwasserkompaß gemessen, z. T. auch am bekannten Verlauf von Riffabschnitten bzw. der Küstenlinie abgeschätzt. Auf der Karte wurden nur die bei dem vorherrschenden Nordost- bzw. Ost-Passat sich normalerweise einstellenden Strömungen vereinfacht dargestellt. Die Stärke der Strömung ist auf Abb. 4 aus praktischen Gründen wie folgt unterteilt:

1. Starke Strömung, wenn eine ständige, kräftige Schwimmbewegung notwendig war, um die laufende Versetzung zu kompensieren.
2. Deutlich wahrnehmbare Strömung, wenn bei kurzfristigem Beobachten des Meeresbodens eine deutliche Versetzung feststellbar war, welche sich durch leichte Schwimmbewegung kompensieren ließ.
3. Schwach wahrnehmbare Strömung, wenn eine Versetzung nicht sofort, sondern erst nach längerem Beobachten des Meeresbodens erkennbar wurde. Sie fällt beim Schwimmen normalerweise nicht auf.

Abb. 4. Oberflächenströmungen auf dem Insularschelf von San Andrés, welche sich unter dem Einfluß des Nordost-Passates ausbilden. Die Werte von Strömungsrichtung und Strömungsstärke außerhalb des Insularschelfes wurden extrapoliert, das gesamte Bild der Strömungsverteilung etwas schematisiert.

Surface currents on insular shelf of San Andrés prevailing during influence of northeast trade winds. Data from outside insular shelf extrapolated. Schematic.



Die Gezeiten im Bereich des Karibischen Meeres sind gemischt, d. h. es treten normalerweise 2 Hochwasser und/oder 2 Niedrigwasser auf, und beide Tiden unterscheiden sich stark in Zeit und Höhe. Die Halbtagszeiten sind hier auffallend schwach, die Eintagszeiten verhältnismäßig stark ausgebildet. Die Verkümmierung der Halbtagszeiten kann man damit erklären, daß bei den Kleinen Antillen, dem Einfallstor für die Gezeitenenergie aus dem Atlantik, die Halbtagswellen nur kleine Amplituden aufweisen, so daß für das Karibische Meer zu wenig Anregung für ein kräftiges Mitschwingen mit den Halbtagszeiten des Atlantischen Ozeans besteht. Da andererseits aber die Eigenperiode des Karibischen Meeres bei etwa 24 Stunden liegt, werden nur die Eintagswellen vom Atlantik her kräftig angeregt und verstärkt (DIETRICH 1939, 128—129). Auch um San Andrés kommt daher die gemischte Gezeitenform bei starker eintägiger Komponente vor.

Der Tidenhub ist im westlichen Karibischen Meer verhältnismäßig unbedeutend und erreicht bei San Andrés mit seiner eintägigen Komponente Beträge von schätzungsweise 30 cm zur Nippzeit und von rund 60 cm zur Springzeit. Die dadurch bewirkten Gezeitenströme sind offenbar recht schwach und meist nicht eindeutig von den durch den Wind erzeugten Oberflächenströmungen zu trennen, denen sie sich überlagern. Ihr Einfluß dürfte im flachen Uferbereich stärker anzusetzen sein als im tieferen Wasser außerhalb der Riffe.

In Meeresgebieten, in denen der Tidenhub nur geringe Beträge erreicht, sind die meteorologischen Einwirkungen besonders in Form von anhaltenden Lagen außergewöhnlichen atmosphärischen Druckes um so deutlicher, da diese den Meeresspiegel auffallend zu senken oder zu heben vermögen. Um San Andrés konnte insbesondere beobachtet werden, daß regelmäßig beim Zusammenfallen von Springzeiten mit einer Hochdruckwetterlage vor allem im Monat März weite Flachwassergebiete zwischen „Rocky Cay“ und „Haine Bight“ bei Niedrigwasser trockenfielen, so daß tagsüber bei wolkenfreiem Himmel sowohl Teile des Seegras-Rasens als auch ein Großteil der darin siedelnden Invertebratenfaunen durch Überhitzung und Austrocknung abstarben. Es scheint darüber hinaus, daß eben solche Springniedrigwasser, die bei Hochdruckwetterlagen in der Zeit der stärksten Sonneneinstrahlung auftreten und von weitgehender Wellenruhe begleitet werden, der wichtigste Kontrollfaktor für die Obergrenze des Hochwachsens der Korallenriffe von San Andrés sind, die unter diesen Bedingungen auf weite Erstreckung hin trockenfallen können. So läßt sich beispielsweise an älteren Kolonien von *Acropora palmata*, *Millepora alcicornis* und *Diploria strigosa* vielfach beobachten, daß sie schon einige cm unter dem Springniedrigwasserspiegel abgestorben und von roten Kalkalgen überzogen sind.

Andererseits hat sich um San Andrés gezeigt, daß bei Tiefdruckwetterlagen, wie sie etwa im Gefolge tropischer Stürme oder Hurrikane auftreten, der Meeresspiegel auch beträchtlich anzusteigen vermag.

1.4.3. Wellengang: Seen, Dünung und Brandung

Wenn Wind von hinreichender Stärke über eine Meeresoberfläche bläst, erzeugt er den sogenannten „Seegang“, der physikalisch gesehen ein Gemisch von Wellen verschiedener Perioden darstellt. Wellen, die sich noch im Erzeugungsgebiet und unter Windeinfluß befinden, werden als „Windwellen“ oder „Seen“ bezeichnet. Diese sind im allgemeinen von kurzer Periode und laufen angenähert in Richtung des erzeugenden Windes. Langperiodische Wellen haben eine größere Ausbreitungsgeschwindigkeit als der sie erzeugende Wind, laufen deshalb ihrem erzeugenden Wind-

gebiet und den kurzperiodischen Wellen voraus und treten dann als „Dünungswellen“ mit gleichmäßigen Kämmen und Trögen in Erscheinung. Ihre Ausbreitungsrichtung ist unabhängig von den lokal vorherrschenden Winden und entspricht im wesentlichen derjenigen der Winde im Erzeugungsgebiet. Kurzperiodische und langperiodische Wellen bäumen sich im Flachwasser auf und brechen sich dort als „Brandungswellen“.

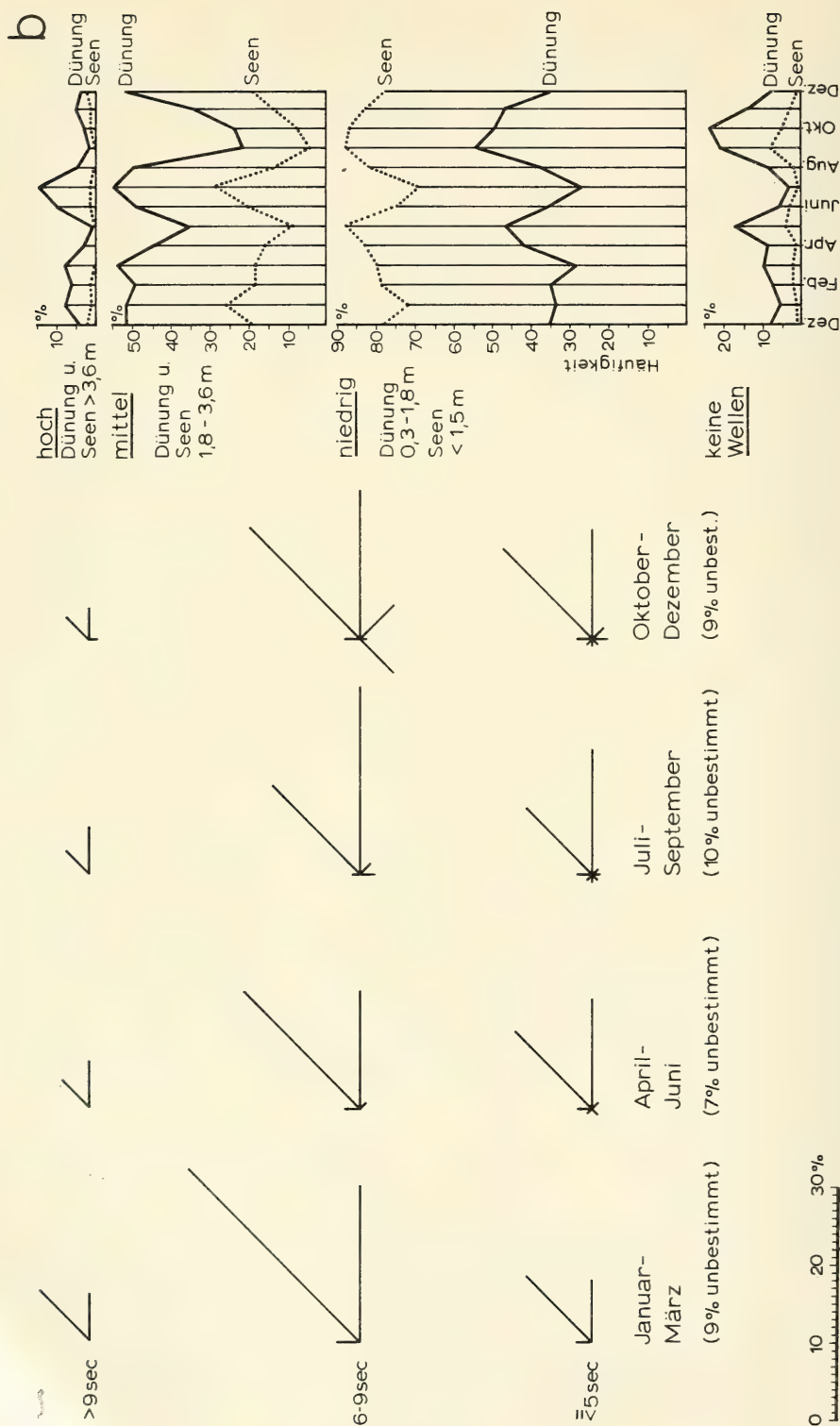
Während die Wellenhöhe sowohl von der Windgeschwindigkeit, der Wirklänge (d. h. der Strecke, über die der Wind bläst) und der Wirkdauer des wellenerzeugenden Windes bestimmt wird, können Wellen langer Perioden nur dort erregt werden, wo auch eine große Wirklänge gegeben ist. Man kann deshalb annehmen, daß am Westende des Karibischen Meeres infolge einer maximalen, von Inseln ungestörten Wirklänge des Passates die größten Wellenhöhen und Wellenlängen im gesamten inneren westindischen Raum auftreten, da hier zum lokalen Seegang die durch den Passat auf über 2000 km Wirklänge im E erregte langperiodische Dünung hinzukommt. Das findet seine Bestätigung in den Darstellungen der Wellenverteilung im ozeanographischen Atlas dieser Region (U.S. Naval Oceanogr. Off. 1963), die sich auf ein umfangreiches Beobachtungsmaterial stützen.

Aus der maximalen Wirklänge des Passates im E der Inselgruppe von San Andrés und Providencia läßt sich daher folgern, daß die nach N, NE und E gerichteten Außenriffe der Inseln einer ungewöhnlich kräftigen Brandung ausgesetzt sind. Es ist deshalb zu erwarten, daß diese Riffe besondere ökologische Anpassungen zeigen müssen, die den Riffen in weniger exponierten Lagen fehlen. Da in einem größeren Riffkomplex die Wellenenergie durch Erscheinungen der Wellenbrechung und Bodenreibung von Ort zu Ort beliebig stark abgeschwächt werden kann, erhält man unter diesen Bedingungen ein viel breiteres Spektrum von Anpassungen, die durch eine bestimmte mittlere Wellenenergie charakterisiert werden, als etwa in Riffgebieten, die in stärker geschützten oder kleineren Meeresgebieten liegen.

Aus Abb. 5a wird ersichtlich, daß die Wellen besonders des langperiodischen Spektralanteils das Westende des Karibischen Meeres vorwiegend aus NE- bis E-Richtung erreichen. Die jahreszeitlichen Schwankungen erklären sich vor allem durch die Verteilung von Windrichtungen und Windintensitäten. Das Diagramm in Abb. 5b zeigt, daß maximale Wellenhöhen bei San Andrés häufig im Januar, Februar und März sowie besonders markant im Juni und Juli erreicht werden. Kein Wellengang ist am ehesten in den Monaten März, Mai, September, Oktober und November zu beobachten. Außerdem ist an Hand des Diagrammes erkennbar, daß die Dünung den Hauptanteil der hohen ($> 1,8$ m Wellenhöhe) und höchsten ($> 3,6$ m Wellenhöhe) Wellen ausmacht, während die Seen vor allem die Wellen niedriger Wellenhöhe ($< 1,8$ m) stellen.

Die Dünung um San Andrés weist neben besonders großen Wellenhöhen wegen der langen Wirklänge des Passates auch maximale Perioden auf. Da sowohl die Wellenhöhe H als auch die Wellenperiode T nach $E \approx H^2 T$ in die Gleichung für die Wellenenergie*) eingehen, ergibt sich, daß bei der Brandung in den nach NE und E exponierten Riffabschnitten über einen längeren Zeitraum gesehen pro Längeneinheit eine für westindische Verhältnisse maximale Wellenenergie frei-

*) Nach MUNK & SARGENT (1954, 280) ist die mittlere Energie, die von den Wellen jede Sekunde pro Längeneinheit eines Riffes freigesetzt wird, $E = (1/32) \rho g^2 H^2 T$, wobei ρ die Wasserdichte und g die Erdbeschleunigung ist.



gesetzt wird. Diese Energie verteilt sich statistisch gesehen nicht gleichmäßig über das ganze Jahr, sondern erreicht Maximalwerte besonders in den Monaten Dezember bis März und Juni bis August. Die Verteilung der Wellenenergie um eine Insel ist jedoch einer der entscheidenden Faktoren sowohl bei der Ausbildung der Morphologie der Küsten und Korallenriffe als auch bei der Verteilung der hermatypischen Faunen im Riff und der Ausbildung besonderer Wuchsformen von Korallen.

Auf Abb. 6 ist schließlich die Wellenverteilung dargestellt, wie sie sich typischerweise bei Windrichtung aus NE durch Refraktions-, Diffraktions- und Interferenzerscheinungen im Bereich der submarinen Plattform von San Andrés ausbildet. Die Wellenkämme wurden aus Luftbildern übertragen. Bei dem gewählten Maßstab konnten aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht alle Wellenkämme abgebildet werden. Die Abbildung ist deshalb schematisiert und vereinfacht.

1.4.4. Meerwassertemperaturen und Salzgehalt

Die Oberflächentemperaturen des Karibischen Meeres sind das ganze Jahr über tropisch warm mit spätsommerlichen Temperaturen von $28,3^{\circ}\text{C}$ im S und $28,9^{\circ}\text{C}$ im N. Im westlichen Karibischen Meer ist der August der wärmste Monat. Im Winter liegen die Temperaturen ungefähr um 3°C tiefer (GORDON in FAIRBRIDGE 1966, 181).

Die Temperaturen in den Riffen von San Andrés schwanken nach eigenen Messungen mit einem geeichten Badethermometer zwischen 26 und 31°C , bei häufigeren Werten um 27 bis 28°C . Bei Windstille und sonniger Wetterlage wurden in den Monaten August bis Oktober nicht selten Temperaturen von 30°C festgestellt.

Schwankungen der Wassertemperatur sind im Flachwasserbereich vor der Ostküste besonders ausgeprägt. Als Ursache kommen hierfür die geringere Vermischung des Wassers wegen sehr schwachen Wellenganges sowie die schnellere Erwärmung und Abkühlung aufgrund der geringen Wassertiefe in Frage. Außerdem ist hier der Meeresboden fast vollständig von einem Seegrasrasen bedeckt, dessen dunkle Farbe eine höhere Lichtabsorption und damit letztlich eine stärkere Wassererwärmung als über reinen Sandflächen bewirkt. Der stärkere Zufluß von kaltem Süßwasser in diesem Bereich hat nach längeren, heftigen Regengüssen hier andererseits eine fühlbare Abkühlung zumindest in Ufernähe zur Folge.

Bei Ebbe und Windstille können gelegentlich an wolkenfreien Tagen im 10 bis 20 cm tiefen Wasser im Bereich des Seegrasrasens zwischen „Licie Point“ und „Rocky Cay“ die Wassertemperaturen vorübergehend auf weit über 40°C (!) ansteigen. Solche

Abb. 5. Prozentuelle Häufigkeit der im westlichen Karibischen Meer auftretenden Wellenperioden und Wellenhöhen. Zusammengestellt nach Angaben in U.S. Nav. Oceanogr. Off. 1963.

- a. Jahreszeitliche Häufigkeit der Wellen verschiedener Perioden in Abhängigkeit von ihrer Ausbreitungsrichtung.
- b. Monatliche Häufigkeit von Dünung und Seen verschiedener Amplitude (sämtliche Richtungen).

Percent frequency of wave period and wave height in the western Caribbean Sea as compiled from data in U.S. Nav. Oceanogr. Off. 1963.

- a. Seasonal frequency of different wave periods in relation to their direction.
- b. Monthly frequency of swells and seas of different heights (all directions).

hohen Temperaturen lassen sich mit der nur sehr langsamen, nach S gerichteten Küstenlängsströmung im besonders flachen, mittleren Abschnitt der Ostküste vor „Coco Plum Bay“ erklären. Sie bewirkt nach S eine zunehmende Wärme-Akkumulation in diesem gleichmäßig flachen Wasserkörper. Die Wassertemperatur erreicht bei extremem Springniedrigwasser wegen der Behinderung der Strömung im Flachwassergebiet ihre höchsten Werte, was das im Zusammenhang mit den Gezeiten erwähnte Massensterben der Invertebraten-Fauna des Seegrassrasens wie auch der Blätter von *Thalassia* zur Folge hat (vgl. GLYNN 1968).

In der Zeit zwischen August 1968 und Februar 1969 wurden in der Bucht von San Luis nahe dem Strand in etwa 1 m tiefem Wasser 120 Temperaturmessungen durchgeführt. Von August bis Oktober ergaben die Messungen um 7 Uhr morgens in der Regel Werte von 28 – 30°C und im Dezember bis Februar 26 – 28°C, worin sich deutlich ein jahreszeitlicher Gang in der Temperaturkurve widerspiegelt. Bei ruhiger, sonniger Wetterlage erreichte die Wassertemperatur gegen 16 Uhr ihren höchsten Betrag, der 3 bis 5° über den morgendlichen Werten liegen konnte. Als Maximalwert wurde an der selben Stelle an einem Nachmittag im September 34°C und als Minimalwert 25,2°C in der Frühe im Februar festgestellt.

Die Wassertemperatur und die Wassertemperaturschwankungen sind von besonderer Bedeutung für die Korallenriffe, da die Hauptriffbildner nur in einem begrenzten Temperaturintervall leben können. Die optimale Wassertemperatur für das Gedeihen von Rifffkorallen liegt nach WELLS (1957, 1088) zwischen 25 und 29°C. Maximale und minimale Toleranzen werden mit 36° und 16° angegeben. Jedoch können manche besonders resistente Korallen hohe Temperaturen bis 38°C (z. B. *Siderastrea radians* und *Porites porites* var. *furcata*) und niedrige Temperaturen bis 11,3°C (*Siderastrea siderea*), bis 10,2°C (*Manicina areolata*) und bis 6,7°C (*Siderastrea radians*) ohne erkennbare Schädigung überstehen (MAYER 1914, 19).

Daraus ergibt sich, daß die Temperaturen in den Riffen von San Andrés fast vollständig im Bereich des Temperaturoptimums für das Wachstum von Rifffkorallen liegen. Lediglich die im flachen Seegrasbereich vor „Coco Plum Bay“ gelegentlich auftretenden Maximaltemperaturen sind offenbar ein Begrenzungsfaktor für viele der normalerweise in flachen Lagunenbereichen siedelnden Korallen wie *Siderastrea radians* und *Manicina areolata*. Das wird durch die Tatsache angedeutet, daß *Manicina areolata* hier vollständig fehlt und *Siderastrea radians* auch nur stellenweise auftritt. Zu dem Effekt der gelegentlichen Überhitzung des Wassers tritt außerdem eine noch zu erwähnende periodische Verbrückung des Wassers, was eine genaue Abgrenzung der beiden Einflüsse erschwert.

Im Seegrasgebiet vor der Nordküste der Insel wurde gelegentlich beim Zusammenfallen von besonders hohen Wassertemperaturen mit Zeiten der Wellenruhe infolge Windstille festgestellt, daß verschiedene Exemplare von *Manicina areolata* und auch andere Korallen vorübergehend ihre Zooxanthellen verloren. Manche dieser Kolonien, darunter auch einige Stöcke von *Acropora palmata*, starben in der darauffolgenden Zeit teilweise oder auch vollständig ab.

Abb. 6. Refraktion und Diffraktion der vom Passat erzeugten Dünung auf dem Insularschelf von San Andrés (zusammengestellt mit Hilfe von Luftbildserien).

The swell generated by the trade winds develops a characteristic pattern of refraction and diffraction as soon as it is influenced by the submarine topography of San Andrés insular shelf (taken from aerial photographs).



Der Salzgehalt im westlichen Karibischen Meer beträgt im Jahresmittel etwa 36 ‰ (Dt. Hydr. Inst. 1958, 154) und kann bei einem jährlichen Gang von 0,7 ‰ mit einem Maximum im Mai und einem kräftig ausgebildeten Minimum zwischen Juli und Oktober praktisch als konstant angesehen werden (DIETRICH 1939, 127). Nach den Ergebnissen experimenteller Untersuchungen von VAUGHAN (1914, 224–225) und WELLS (1932, 291) sind diese Unterschiede zu gering, als daß sie einen Einfluß auf das Gedeihen von Korallen haben könnten.

Da an der Küste von San Andrés im Gegensatz zu manchen pazifischen Atollen keine weiten Riffplatten vorkommen, die bei Ebbe teilweise trockenfallen, ist hier mit einer fühlbaren Anhebung des Salzgehaltes durch Evaporation während des Niedrigwasserstandes nicht zu rechnen. Im ufernahen Flachwasserbereich jedoch kann eine starke Erniedrigung der Salinität dann auftreten, wenn in der Regenzeit langanhaltende, wolkenbruchartige Niederschläge über der Insel niedergehen. Ein Teil des Regenwassers staut sich in sumpfigen Depressionen hinter den Strandwällen und tritt durch Ausflüsse oder bei extremen Niederschlägen auch schichtflutartig in den Flachwasserbereich der Lagune aus, die dann über größere Erstreckung hin getrübt erscheint.

Außerdem scheint das Regenwasser durch die Strandsedimente in die Lagune einzusickern. Das zeigt sich unter anderem daran, daß das Meerwasser in diesem Bereich auch noch Stunden nach dem Regen deutlich brackisch schmeckt.

Wenn das Regenwasser tatsächlich über die Süßwasserlinse in stärkerem Maße in das Meer eintritt, muß die Aussüßung an der Austrittsfläche, d. h. am Lagunenboden in Strandnähe, besonders stark sein. Dies würde dazu führen, daß in solchen Bereichen die stenohalinen Formen des sessilen Benthos weitgehend fehlen. Tatsächlich kann man beobachten, daß die in den Seegrasbereichen des Flachwassers normalerweise sehr häufige Lagunenkoralle *Manicina areolata*, deren Kolonien dem Sandboden aufliegen, an denjenigen Abschnitten der Nordküste vollständig fehlt, die durch einen Strandwall mit dahinterliegender sumpfiger Depression gebildet werden. Sie kommt jedoch bei gleichem Substrat überall dort vor, wo die Küste von Fels gebildet wird und ein Sandstrand mit Süßwasserlinse nicht vorhanden ist. Ähnliches gilt — wenn auch in eingeschränktem Maße — für die Koralle *Siderastrea radians*.

Anhaltspunkte für einen Einfluß der vorübergehenden Absenkungen der Salinität im Küstenbereich auf das Saumriff vor der Nordküste haben sich nicht ergeben.

1.5. Die submarine Topographie im Meeresgebiet um San Andrés

Das Großrelief des Meeresbodens vor der Ostküste Nikaraguas zeigt einen im N sehr breiten, sich gegen S verschmälernden Kontinentalschelf, die sogenannte Miskito-Bank, an den sich der Kontinentalabhang anschließt. Letzterer verflacht sich in etwa 2000 m Wassertiefe und leitet mit schwacher Neigung in das im E der Insel gelegene, mehr als 4000 m tiefe Colombia-Becken über. Diese Gliederung ergibt sich aus der Seekarte Nr. 536 des Deutschen Hydrographischen Institutes und der Tiefenlinienkarte BC 903 des Oceanographic Office der amerikanischen Marine. Für die nähere Umgebung von San Andrés liegt außerdem noch eine wesent-

tailliertere bathymetrische Skizze vor (MILLIMAN & SUPKO 1968, Abb. 2).

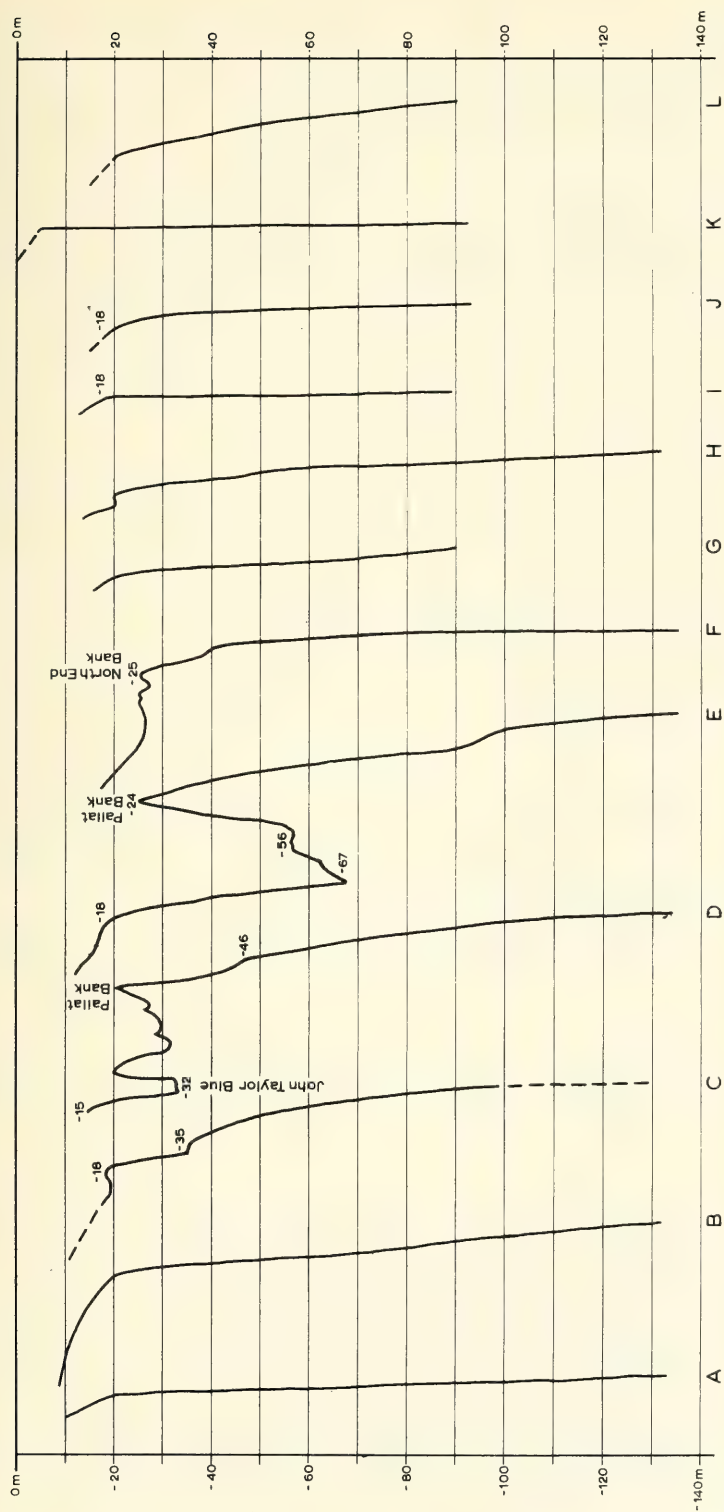


Abb. 7. Echolotprofile A—L am Außenabhang von San Andrés. Etwa 50fach überhöht. Zur Lage der Profile siehe Abb. 3.

Fathometer profiles A—L taken at outer slope of insular shelf of San Andrés. Vertical exaggeration is ca. 50:1. For location of profiles see fig. 3. W_{water} depth in meters.

Gemessen an der 200 m-Linie endet der mittelamerikanische Schelf etwa 70 km westlich von San Andrés und Providencia. Der Meeresboden fällt danach von der Kante des Kontinentalschelfes bis in eine Entfernung von etwa 10–20 km vor den Inseln auf rund 2000 m Tiefe ab. Die Inseln und Atolle des Archipels von San Andrés und Providencia sowie einige untermeerische Erhebungen sitzen dem sonst verhältnismäßig ruhigen Relief des Meeresbodens in diesem Bereich als ungewöhnlich steile Berge auf. Nach MILLIMAN & SUPKO (1968, 103) beträgt der Gefällswinkel an der West- und Südküste von San Andrés über 25° bis in Tiefen von mehr als 800 m. Auch im SE der Insel bildet das „Bocatora Hole“ nahe der Küste einen Steilabfall in Form eines submarinen Kliffs, welches von 5 m bis in angeblich mehr als 200 m Tiefe einen fast senkrechten Abgrund bildet.

Im Tiefenbereich um 400 m stellen MILLIMAN & SUPKO (1968, 104) auffallende Verebnungen fest, die sie als Vulkanbauten deuten, welche vor einer Absenkung des Meeresbodens von Wellen gekappt wurden.

Um die submarine Topographie wenigstens im höheren Abschnitt des Außenabhangs von San Andrés zu ermitteln, wurden im September 1970 mit einem selbstschreibenden Echolot der Marke F850A Mark II (Furuno Electric Co. Ltd.) an Bord des Fischkutters „Paña“ 12 Profile aufgenommen (Abb. 7)*). Diese beschreiben das Relief des Außenabhangs vom Außenrand der Vorriff-Terrasse (oder 20 m-Terrasse) bis in Tiefen von 90–120 m. Da alle Profile mit der gleichen Motorleistung gefahren wurden, kann man etwa mit der selben Überhöhung rechnen. Durch Vergleich von Profil F mit den Tiefenangaben auf der Seekarte Nr. 1511 der britischen Admiralität ergab sich in grober Annäherung eine etwa 50-fache Überhöhung sämtlicher Profile.

Als bemerkenswerteste topographische Struktur wurde die sogenannte „Pallat Bank“ im NE der Insel (Profile D, E, F) durch das Echolot aufgezeichnet. Sie ist wohl als „ertrunkenes“ Wallriff zu deuten, dessen Riffkamm heute in 20–25 m Tiefe liegt und außerhalb des heutigen Wallriffes eine bis mindestens 67 m tiefe Lagune umschließt. Ganz ähnliche Riffstrukturen in vergleichbarer Tiefenlage sind auch aus dem östlichen Karibischen Meer bekannt geworden (MACINTYRE 1972).

Außer der 20 m-Terrasse zeigen verschiedene Profile einen deutlichen Absatz im 35–46 m-Bereich (Profile C, D, F), eine Terrasse in 56 m Tiefe sowie eine deutliche Verebnung im 90–100 m-Bereich (Profil E).

Die submarine Topographie innerhalb des Insularschelfes wurde schließlich in Abb. 3 dargestellt. Der genaue Verlauf der 20 m-Linie bleibt jedoch recht unsicher, da die Abbruchkante der 20 m-Terrasse als wichtige Referenzlinie auf Luftbildern wegen ihrer zu großen Tiefenlage nicht mehr erkennbar ist.

2. Der Insularschelf: Regionale Beschreibung des rezenten Rifffkomplexes

Auf den folgenden Seiten soll die submarine Topographie sowie die Verteilung von Sedimenten und Organismen in den einzelnen Abschnitten des Insularschelfes von San Andrés beschrieben werden. Die hier gewählten Abschnitte entsprechen Sektoren auf dem Insularschelf, welche einen weitgehend einheitlichen Aufbau zeigen,

*) Der Besitzer von Boot und Echosonde, Herr Vytautas KULIKAUSKAS, San Andrés, stellte beide diesem Zweck einen Nachmittag lang zur Verfügung. Hierfür sei an dieser Stelle nochmals bestens dankt.

so daß sie zusammengefaßt beschrieben und in den beigegebenen Profilen (Abb. 8—12) in etwas verallgemeinerter Form dargestellt werden konnten. Die Lage der einzelnen Abschnitte des Insularschelfes zueinander ergibt sich aus Abb. 3.

2.1. Der Nordostabschnitt zwischen „Snapper Shoal Channel“ und „Big Channel“

(Abb. 7, Profile E u. F; Abb. 8, Profile 1—3; Abb. 9, Profil 5; Taf. 1, Fig. a—c)

Von der Nordküste der Insel bis zum offenen Meer läßt sich die Topographie des Meeresbodens in nördlicher und nordöstlicher Richtung in folgende geomorphologische Einheiten untergliedern: Bootskanal, Saumriff, Lagune (Lagunenbecken und Lagunenterrasse) mit Fleckenriffen, Wallriff und Vorriff-Terrasse mit Außenabhang.

2.1.1. Bootskanal

Zwischen der Nordküste der Insel und dem in etwa 250 m Entfernung vorgelagerten Saumriff bildet der Meeresboden eine 0,5—2 m tiefe und ca. 2 km lange Rinne. Solche seichten Vertiefungen zwischen Saumriff und Küste sind aus allen Riffgebieten der Erde bekannt und in der Literatur unter dem Begriff „Bootskanal“ beschrieben worden.

Die Küste wird in diesem Bereich weitgehend von Sandstrand, z. T. auch von einem niederen Kliff aus pleistozänem Kalkstein gebildet. Der Boden des Bootskanals ist bis auf wenige Stellen, an denen der Felsuntergrund hervortritt, fast durchweg von Sand bedeckt und von einem dichten Rasen der beiden Seegräser *Thalassia testudinum* und *Cymodocea manatorum* bewachsen. In diesem Rasen siedelt eine artenreiche Algenflora, deren auffallendste Vertreter den Gattungen *Halimeda*, *Penicillus*, *Caulerpa* und *Dictyota* angehören. Die blattartigen Segmente von *Halimeda* bilden die wichtigste Grobsandkomponente im Bereich des Bootskanals.

Stellenweise ist der sonst durchgehend ausgebildete Seegrasrasen aufgerissen. Hier wurde der Sand bis auf mehr als 1 m Tiefe ausgespült, so daß wannenartige Vertiefungen von je mehreren Quadratmetern Oberfläche entstanden. Der Boden dieser „Sandwannen“ zeigt in der Regel keinen zusammenhängenden Pflanzenwuchs (Abb. 13).

Im Bereich des Seegrasrasens lebt ein artenreiches Benthos, darunter Schwämme (? *Spheciospongia*), Korallen, Echinodermen und Mollusken. Bei den Korallen, welche den Bootskanal ebenso wie die Lagune besiedeln, herrschen Formen mit besonderer ökologischer Anpassung an Lockersubstrat vor. In der Regel handelt es sich hierbei um kleinere Kolonien. Im juvenilen Zustand sind sie an Molluskenschalen, Korallenbruchstücken oder auch an den starren Zweigen von roten Kalkalgen festgewachsen. Im herangewachsenen Zustand lösen sie sich von ihrer Unterlage, wie etwa *Manicina areolata*, oder sie umwachsen das als Substrat dienende Korallenbruchstück wie im Falle von *Siderastrea radians*. Derartige allseitige Umkrustungen können auch bei *Siderastrea siderea* oder *Porites astreoides* gelegentlich beobachtet werden. Sie ergeben knollenförmige Kolonien, welche völlig frei im Seegras oder auf dem Sandboden liegen. Bei stärkerem Wellengang werden sie gelegentlich gewendet, so daß die Polypen an der jeweiligen Basis nicht absterben, sondern charakteristischerweise die gesamte Kolonie überziehen. Dort, wo eine etwas festere Unterlage zur Verfügung steht, können sich auch im Bootskanal außer den angeführten Formen noch *Porites porites*, *Favia fragum*, die inkrustierende Hirnkoralle *Diploria clivosa*

und stellenweise auch einzelne Köpfe von *Montastrea annularis* ansiedeln. Am Ostende des Saumriffes greifen sogar die Hecken der Hirschgeweihkoralle *Acropora cervicornis* bis in den Bootskanal über (Abb. 8, Profil 3; GEISTER 1973b, Taf. 1).

Noch zahlreicher als die Korallen treten im Bootskanal die Echinodermen auf. Hier sind vor allem Seeigel zu nennen, insbesondere große, weißstachelige Echiniden (*Tripneustes esculentus*, daneben auch *Lytechinus variegatus*) und die blauschwarzen Lanzenseegel *Diadema antillarum*. Die weißen Seeigel leben in verstreuten Gruppen meist in den uferferneren Bereichen des Bootskanals und in der Nähe des Saumriffes. Sie siedeln bevorzugt auf Seegras und Sand, gelegentlich auch auf Felsboden. Fast immer tarnen sie sich nach oben mit *Thalassia*-Blättern, kleinen Steinen, Korallenbruchstücken und nicht selten auch mit den Gehäusen verstorbener Artgenossen, welche mit den Stacheln über ihrem Körper festgehalten werden. Die Art *Diadema antillarum* lebt dagegen im Bereich des Bootskanals immer in dicht gedrängten Gruppen, wobei die giftigen, oft mehr als 10 cm langen Stacheln nach allen Seiten sichern. Vereinzelte *Diadema*-Seeigel siedeln auch zwischen Korallentrümmern. Weniger auffallend lebt *Echinometra lucunter*, ein kleiner, schwarzstacheliger Seeigel von rötlicher Tönung, der vorwiegend im flachen Wasser nahe dem Kliff Felsritzen und selbstgeschaffene Löcher bewohnt. Im Bereich größerer „Sandwannen“ wurde der Herzseeigel *Meoma ventricosa* örtlich häufig angetroffen. Hier und in der Lagune fanden sich auch gelegentlich die Gehäuse von 3 verschiedenen *Clypeaster*-Arten.

Schlangensterne werden regelmäßig unter Molluskenschalen und Korallentrümmern gefunden. Im Seegras und auf Sandboden leben Holothurien fast im gesamten Bereich des Bootskanals. Der Netzseestern *Oreaster reticulatus* fand sich dagegen nur sehr vereinzelt und fast ausschließlich im Bereich des Seegrases. Vermutlich wäre er häufiger anzutreffen, wenn er nicht ein beliebtes Sammlungsobjekt vieler Touristen bildete.

Unter den Mollusken treten zahlreiche kleine Schnecken (in erster Linie *Cerithium*) und Muscheln (*Codakia orbicularis*, *Modiolus americanus* u. a.) häufig auf. Seltener sind hier großwüchsige Schnecken wie *Strombus gigas*, *S. raninus*, *Cassia tuberosa*, *Charonia variegata* und *Vasum muricatum*.

In den Außenbereichen des Bootskanals in der Nähe des Riffes wird der Boden weitgehend von Korallen- und Milleporen-Bruchstücken bedeckt, welche die Brandung im Riff abgeschlagen und im ruhigeren Wasser des Bootskanals in einem breiten Streifen parallel zur Innenkante des Riffes abgelagert hat. Der Seegrasrasen setzt meist schon vor diesem Bereich aus. Sämtliche Korallenbruchstücke werden von einem dünnen Film roter Kalkalgen überzogen. Korallen haben dieses instabile Substrat nur in sehr beschränktem Maße besiedelt. Vereinzelt fanden sich hier *Siderastrea radians*, *Diploria clivosa* und *Favia fragum*.

2.1.2. Saumriff „Little Reef“

Das der Nordküste in etwa 250 m Entfernung vorgelagerte Saumriff wird zum Unterschied zu dem weiter außen gelegenen, wesentlich größeren Wallriff von den Einheimischen als „Little Reef“ bezeichnet. Es bildet ein etwa 1800 m langes und rund 50 m breites Riffband, welches durch 3 Querkanaäle unterschiedlicher Breite in 4 Teilabschnitte untergliedert wird. An diesen Durchlässen ist das Riff charakteristischerweise zum Bootskanal hin einwärts gebogen. Auf Grund ihrer Topographie lassen sich die einzelnen Riffabschnitte in Riffplatte und Vorriffabhang unterteilen. Letzterer bricht an der Außenkante der Riffplatte steil zur Lagune hin ab,

um dann in 4–6 m Tiefe auf dem Lagunenboden auszulaufen. Diese deutliche Abgrenzung zwischen Riffplatte und Vorriffabhäng kann man am besten in den 3 östlichen Riffabschnitten beobachten. Im Westabschnitt fehlt sie weitgehend. Das Riff liegt hier auch wesentlich tiefer und bildet weder eine scharfe Grenze zum Bootskanal noch zur Lagune.

Vom Bootskanal her kommend erkennt man den Beginn der Riffplatte in den östlichen Abschnitten des Saumriffes meist an einer kleinen, aber markanten Stufe, die sich deutlich über die mit Korallen- und Milleporen-Bruchstücken übersäten Außenbereiche des Bootskanals erhebt. Die Riffplatte bildet eine einigermaßen ebene Fläche, die einen in der Regel dichten Korallenwuchs trägt. Es überwiegt auf weiten Flächen eine Faunengesellschaft von kleinen, inkrustierenden und hemisphärischen Korallen, darunter besonders häufig *Porites astreoides*. Daneben treten aber auch noch zahlreiche Kolonien von *Diploria clivosa*, kleine Kolonien von *D. strigosa* und die fast überall in Riff und Lagune verbreitete *Favia fragum* auf. Durch die vielen, annähernd gleich großen inkrustierenden Formen macht die Riffplatte auf weite Strecken einen regelrecht gepflasterten Eindruck. Diese Korallengesellschaft ist auch auf Riffplatten in anderen Abschnitten des Riff-Komplexes von San Andrés verbreitet und soll deshalb im Folgenden kurz als *astreoides-clivosa*-Fauna bezeichnet werden. Im Bereich größerer Wellenturbulenz an der Vorderkante der Riffplatte treten außerdem Gorgonien und *Millepora complanata* stärker in Erscheinung. In der Nähe der Rückkante und in geschützteren Lagen kann man die Fingerkoralle *Porites porites* örtlich sehr zahlreich antreffen. Die Wassertiefe auf der Riffplatte beträgt im Bereich dieser Faunengesellschaft bei Niedrigwasser oftmals weniger als 0,5 m (Abb. 8, Profil 1; Taf. 3, Fig. a; Taf. 4, Fig. a u. d).

Dort, wo die Riffplatte etwas tiefer liegt, treten über größere Flächen hinweg außerdem dichte Korallenhecken von *Acropora palmata* auf, die bis an die Niedrigwasserlinie emporwachsen können. Im Bereich dieser Hecken gedeihen ebenfalls große Kolonien von *Diploria strigosa* und *Millepora complanata*. Lokal kann *Acropora palmata* teilweise oder ganz von den letztgenannten beiden Formen vertreten werden. Die Vergesellschaftung dieser großwüchsigen Kolonien ist ebenfalls typisch für viele Riffplatten um San Andrés und wird im Folgenden als *strigosa-palmata*-Fauna bezeichnet. Sie überlagert in „Little Reef“ das Korallenpflaster der kleinwüchsigen Formen in breiten Streifen, die von der Vorderkante der Riffplatte bis zur Hinterkante reichen können. Die *astreoides-clivosa*-Fauna spielt im Bereich der *palmata*-Hecken nur eine untergeordnete Rolle. *Porites porites* kann hier sowohl an der Hinterkante der Riffplatte als auch in den geschützten Lagen zwischen den großen Kolonien örtlich recht häufig vertreten sein (Abb. 8, Profil 2; Taf. 3, Fig. b u. c; Taf. 4, Fig. b u. c; Taf. 9, Fig. d).

Im Ostabschnitt des Saumriffes ist im Bereich der Riffplatte eine ganz ähnliche Faunerverteilung erkennbar. Zusätzlich haben sich hier hinter der Riffplatte im Schutze der *strigosa-palmata*-Fauna die schon erwähnten Korallenhecken von *Acropora cervicornis* angesiedelt. Ein stärkerer Wuchs von *Porites porites* tritt fleckenweise im Bereich des Seegrasrasens erst innerhalb des Bootskanals auf (Abb. 8, Profil 3).

Der steile Außenabhang des Saumriffes wird teilweise von Korallentrümmern bedeckt, so z. B. von *palmata*-Ästen, die im Bereich der Außenkante der Riffplatte abbrechen, in die Tiefe stürzten und dort abstarben. Zwischen ihnen haben sich

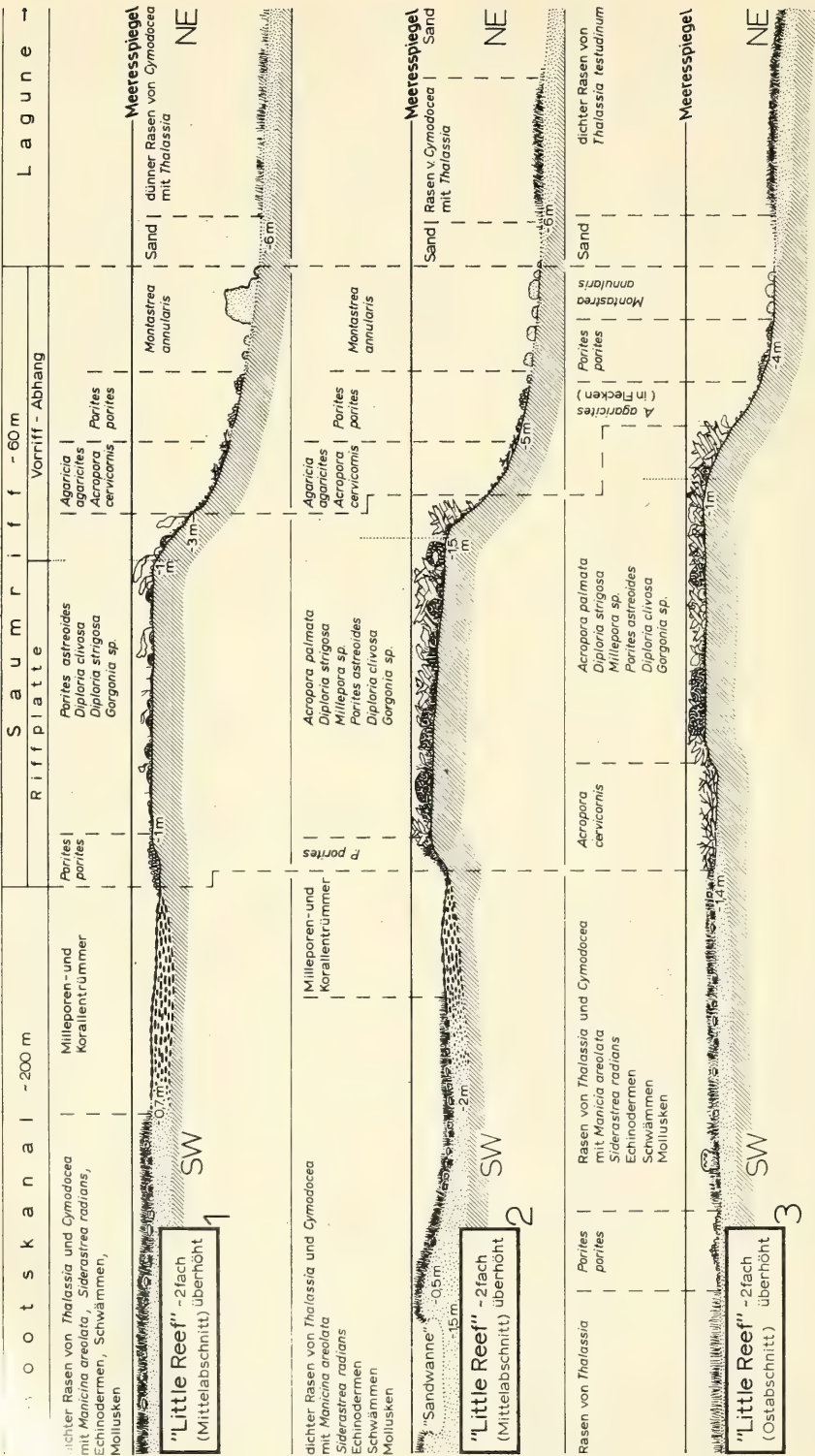


Abb. 8. Ökologisch-topographische Profile auf dem Insularschoff von San Andrés.
1-3: Profile durch „Little Reef“.
Ecological and topographical reef sections on the San Andrés insular shelf.
1-3: Sections across „Little Reef“.

zahlreiche weitere Korallen angesiedelt. Während im oberen Abschnitt des Vorriff-Abhanges bis etwa 1–3 m Tiefe noch die Faunenelemente der Riffplatte vorherrschen, treten tiefer zusätzlich noch weitere Arten auf. Der Korallenwuchs erscheint meist nicht sehr dicht, doch zeigt er eine charakteristische Verteilung. Im höheren Teil des Vorriff-Abhanges setzt unterhalb der *Acropora palmata* ein Wuchs vor allem von *Agaricia agaricites* var. *agaricites* ein, und etwas tiefer oder auf dem gleichen Niveau bis in etwa 4 m Tiefe finden sich gelegentlich vereinzelte Kolonien der Hirschgeweihkoralle *Acropora cervicornis*. Auffallenderweise kommen gerade in diesem Bereich in noch viel größerer Zahl auch abgestorbene Kolonien von *A. cervicornis* vor, was auf eine wesentlich größere Verbreitung dieser Koralle in nicht weit zurückliegender Zeit schließen läßt. Noch etwas tiefer, dort wo sich der Abhang in 4–5 m zu verflachen beginnt, finden sich kissenförmige, große Kolonien von *Porites porites* var. *furcata*. Diese von 1968–1970 beobachteten auffallenden Kolonien waren während eines Besuches im Jahre 1973 weitgehend abgestorben und zum Teil zerstört. Im Übergangsbereich zum Lagunenboden in meist etwa 4–6 m Tiefe schließlich siedeln mehr als kopfgroße Kolonien von *Montastrea annularis*. Diese treten stets in Gruppen von 20 und mehr Meter Durchmesser auf (vgl. Taf. 9, Fig. a). Die sich hier andeutende riffparallele Zonierung ist nirgends durchgehend und in kaum einem Fall auch vollständig ausgebildet. Sie ist besonders an solchen Stellen nicht immer ganz klar zu erkennen, an denen der Korallenwuchs nicht sehr gut entwickelt erscheint.

Dort, wo größere Korallenkolonien Überhänge bilden, sowie an Höhleneingängen und in dunklen Nischen nehmen einige Korallen scheibenförmige Wuchsform an und können dann ganze Steilwände schindelartig verkleiden. Dies ist am besten an Kolonien von *Agaricia agaricites*, *Porites astreoides* und *Montastrea annularis* zu beobachten.

Außer den genannten Formen finden sich untergeordnet noch verschiedene weitere Arten. Mit zunehmender Tiefe nimmt der Artenreichtum der Begleitfauna im allgemeinen zu. Folgende Korallen werden außer den bereits erwähnten besonders häufig am tieferen Außenabhang des Saumriffes angetroffen:

Siderastrea siderea
Diploria labyrinthiformis
D. strigosa
Colpophyllia natans
Montastrea cavernosa

Didocoenia stokesii
Mussa angulosa
Isophyllastrea rigida
Isophyllia sinuosa
Eusmilia fastigiata

In den Spalten zwischen den Korallen leben überall im Bereich des Riffes zahlreiche Seeigel, vor allem *Diadema*, aber auch *Echinometra*. Sie erweitern ihren Unterschlupf durch Bohrtätigkeit und zerstören auf diese Weise das Gestein. Schlangensterne sind unter Korallenbruchstücken auch im Riff sehr häufig. Überall dort, wo keine Korallen wachsen, überziehen rote, inkrustierende Kalkalgen das Gestein mit einem dünnen Film. Die Grünalge *Halimeda* ist im gesamten Riffbereich weit verbreitet. Braunalgen der Gattung *Dictyota* oder verwandte Formen können die Riffplatte an solchen Stellen rasenartig überwuchern, an denen gegenwärtig kein Korallenwachstum zu beobachten ist.

Die hier beschriebene Organismenverteilung erscheint am besten in den beiden mittleren und dem östlichen Abschnitt des Saumriffes ausgebildet. Der westliche, durch einen breiten Querkanal abgetrennte Teil des Saumriffes zeigt eine 2–4 m tief gelegene Riffplatte. Die Korallenfauna, welche hier einstmals auf weite Strecken

fast ausschließlich aus *Acropora cervicornis* bestand, war zur Zeit der Untersuchungen so gut wie vollständig abgestorben. Lediglich vereinzelte Kolonien von *Montastrea annularis* im tieferen Bereich und von *Acropora palmata* und *Porites astreoides* an flacheren Stellen wurden noch im lebenden Zustand angetroffen.

2.1.3. Lagune mit Fleckenriffen

Die Lagune erreicht zwischen dem Saumriff im S und dem sie nach N und NE begrenzenden Wallriff eine Breite von 800—2000 m. Topographisch gliedert sie sich in das bis zu 12 m tiefe *L a g u n e n b e c k e n* und die 300—800 m breite, vom Wallriff nach SW bis auf etwa 4 m Tiefe einfallende *L a g u n e n t e r r a s s e*. Diese bricht an ihrer Innenkante auffallend steil bis auf den Boden des Lagunenbeckens ab. Die Abbruchkante wird ebenso wie der Boden von Terrasse und Lagunenbecken vorwiegend von lockerem Sandmaterial bedeckt, das sich hier offenbar im natürlichen Schüttungswinkel abgelagert hat, nachdem es von den Wellen aus dem Riffbereich über die Lagunenterrasse bis hin zu deren Außenkante transportiert wurde. Vergleichbare Sandkliffe finden Erwähnung bei MILLIMAN (1969, 8) in der Beschreibung der bei San Andrés gelegenen Atolle und werden dort u. a. als Ausdruck eines verdeckten pleistozänen Reliefs gedeutet. Für eine derartige Interpretation in San Andrés sprechen die Felsoberfläche und kliffartige Stufe der Terrasse im Westteil der Lagune, auf der die rezente Sedimentation heute durch kräftigen Wellengang und starke Strömungen weitgehend unterdrückt wird.

Der Nordabschnitt der Lagune besitzt drei mehrere Meter tiefe Verbindungen zum offenen Meer: Es sind dies der „Big Channel“, der „Point Channel“ und der „Snapper Shoal Channel“. Im SE besteht darüber hinaus eine breite Flachwasserverbindung zum Lagunenbecken im E der Insel.

Der Lagunenboden zeigt in den tieferen Bereichen vielfach ein unruhiges Relief. An etwas aufragenden Stellen siedeln vereinzelt oder auch in Gruppen ungewöhnlich große Kolonien von *Montastrea annularis*, die einen Durchmesser von mehreren Metern erreichen können. Stellenweise gedeihen an flacheren, den Wellen etwas stärker ausgesetzten Bereichen auch kleinere Hecken von *Acropora cervicornis*. Auf dem Sandboden des Lagunenbeckens leben in örtlich schwankender Verbreitung die Lagunenkorallen *Manicina areolata* und *Siderastrea radians*.

Der Boden von Lagunenbecken und Lagunenterrasse wird im N und E von einer mehr oder weniger mächtigen Lage von Lockersedimenten bedeckt. Im Bereich des Lagunenbeckens überwiegen schlecht sortierte Sande, örtlich mit Gemengteilen von Korallentrümmern. Die Sande setzen sich in erster Linie aus Kalkalgenfragmenten, Molluskenschalen, Echinodermenresten, wie auch aus feinem und grobem Korallendetritus zusammen. In einer breiten, an das Wallriff anschließenden Zone der Lagunenterrasse erscheint der Meeresboden von Riffschutt geradezu gepflastert. Es handelt sich hierbei vorwiegend um Milleporen- und Korallenbruchstücke, die zu schuttfahnenähnlichen Streifen in Ausbreitungsrichtung der Wellen angeordnet zur Ablagerung kamen. In der Nordbiegung des Wallriffes liegt das Eiland „Johnny Cay“, welches ebenfalls aus Sand und Korallenschutt aufgebaut wird. Es erreicht etwa 2 m Höhe über dem Meeresspiegel.

Sowohl sedimentologisch als auch ökologisch läßt sich die Lagune ohne weiteres mit dem Bootskanal vergleichen, mit dem sie durch die Querkanäle im Saumriff mittelbar in Verbindung steht. Hier wie dort wird der Boden von Lockersediment bedeckt. Auch die auftretenden Korallenfaunen entsprechen sich weitgehend. Im

übrigen überwiegt vagiles und eingegrabenes Benthos wie Seeigel, Holothurien, Schnecken und Muscheln. Es sind in der Regel dieselben Formen, die auch im Bereich des Bootskanals auftreten. Auffallendste Benthosvertreter sind die großen Seefahrerschnecken *Strombus gigas*, welche den Lagunenboden in kleinen Gruppen abweiden. Außerdem treten hier häufig große Exemplare des Herzseeigels *Meoma ventricosa* auf. Dieser führt eine eingegrabene Lebensweise und erzeugt dabei im Sande deutliche Fortbewegungsspuren, welche sich an der Oberfläche des Lagunenbeckens auf größere Erstreckung verfolgen lassen.

Die Flora bildet auf dem Lagunenboden keine dichte Rasenbedeckung, welche sich mit der des Bootskanals vergleichen ließe. Seegras fehlt im tiefen Bereich und auf der Lagunenterrasse so gut wie vollständig. Lediglich am Südrand der Lagune in der Nähe des Saumriffes bildet *Cymodocea manatorum* mit wenig *Thalassia testudinum* eine Rasendecke, die sich aber schon in Tiefen von 7–8 m wieder vollständig verliert. In größeren Lagunentiefen trifft man die Grünalgen *Halimeda* und *Penicillus*, die Braunalge *Padina* sowie eine *Dictyota*-ähnliche Form an, welche mit weiteren Algen auf dem Boden des Lagunenbeckens fleckenweise eine schütterere Vegetationsdecke bilden (vgl. Taf. 6, Fig. c).

Die Fleckenriffe in der Lagune können Durchmesser bis zu 200 m erreichen. In der Regel bleiben sie kleiner als 100 m. Auf Grund der Verteilung der Korallenfauna im Bereich von Riffplatte und Riffabhang lassen sich in dem hier behandelten Lagunenabschnitt drei verschiedene Typen von Fleckenriffen unterscheiden:

1. Fleckenriffe mit *Montastrea annularis*: Die kleineren Fleckenriffe im zentralen Bereich der Lagune liegen in der Regel in mehr als 4 m Wassertiefe und zeigen eine Korallenvergesellschaftung mit zahlreichen *Montastrea annularis*, *Colpophyllia natans* und verschiedenen Vertretern der Mussiden. Eine Zonierung ist auch nicht andeutungsweise erkennbar. Diese Fauna entspricht derjenigen im tiefsten Abschnitt des Vorriff-Abhanges von „Little Reef“.

2. Fleckenriffe mit *Acropora palmata*: Im Bereich des Lagunenbeckens reichen verschiedene Riffplatten bis in den Bereich zwischen mittlerem Niedrigwasserspiegel und etwa 3 m darunter. Die Korallenverteilung auf der Riffplatte entspricht derjenigen von „Little Reef“ und zeigt sowohl Bereiche mit der *strigosa-palmata*-Fauna als auch der *astreoides-clivosa*-Fauna. Auch die Zonenabfolge am Außenhang entspricht — falls ausgebildet — derjenigen von „Little Reef“.

3. Fleckenriffe mit *Millepora*: Die Riffplatte der Fleckenriffe auf der Lagunenterrasse zeigt in der Regel eine ganz ähnliche Faunenverteilung wie das benachbarte Wallriff mit einem dichten Wuchs von Milleporen, daneben die *astreoides-clivosa*-Fauna, während die *strigosa-palmata*-Fauna meist stark zurücktritt oder die tieferen, geschützteren Lagen einnimmt. Da diese Riffe unmittelbar auf der flachen Lagunenterrasse liegen, konnten sich tiefere Zonen nicht ausbilden.

2.1.4. Wallriff „Big Reef“

Das Wallriff erhebt sich mit einer 1–3 m hohen Stufe über den Außenrand der Lagunenterrasse. Daran schließt eine etwa horizontale Riffplatte unterschiedlicher Breite an, welche nach außen ohne scharfe Grenze in den Vorriff-Abhang überleitet. Dieser fällt seewärts auf 8–10 m Tiefe zur Vorriff-Terrasse ab. Riffplatte und Vorriffabhang dürften zusammen bis ca. 250 m Breite erreichen. Im Gegensatz zu anderen Riffen von San Andrés ist bei „Big Reef“ auf der Lagunen-

seite die Rifflatte durch eine große Zahl von langgestreckten Brandungsrinnen in Riffsporne aufgelöst, welche ausnahmslos in Richtung des Wellentransportes zur Lagune hin gerichtet sind. Die Rinnen erreichen Breiten zwischen 1 und 50 m und lassen sich meist 50—100 m in das Riff hineinverfolgen, wo sie in der Regel in einer kesselartigen Vertiefung endigen, welche etwa 2—3 m unter der allgemeinen Oberfläche des Rinnenbodens liegen kann. Der Boden der Brandungsrinnen besitzt eine ebene Oberfläche und leitet unmittelbar in die Lagunenterrasse über. Seine Oberfläche wird vollständig von Korallenbruchstücken und Sand bedeckt. Die Rifflatten der Sporne liegen 0,5—2 m unter dem Niedrigwasserspiegel. Sie gehen seewärts in die Rifflatte des eigentlichen Wallriffes über (vgl. Taf. 1).

Die kesselartigen Vertiefungen am inneren Ende der Brandungsrinnen bilden den Ausgangspunkt von merkwürdigen, flachen, kanalartigen Rinnen von meist nur 0,5—1,5 m Durchmesser, welche in unregelmäßig schlängelndem Lauf etwa rechtwinklig zur Längserstreckung des Riffes auf die Vorriff-Terrasse hinabführen. Während ihres Laufes vereinigen sich benachbarte Rinnen gelegentlich und gabeln sich teilweise auch wieder. Sie passen sich der submarinen Topographie weitgehend an und laufen abwärts und aufwärts, wenn es das Relief erfordert. Hin und wieder wurden auch Rinnen beobachtet, die von Riffgestein brückenartig auf wenige Meter Länge überdacht wurden. Der Rinnenboden macht einen überschliffenen Eindruck und wird vielfach von einer dünnen Lage Sandes, örtlich auch von Geröll bedeckt. Daneben finden sich kleinere, abgerollte Korallentrümmer. Es fällt auf, daß vereinzelt große Korallen am Boden der Rinnen wachsen und diese dabei vollständig blockieren können. Auf Luftbildern treten diese flachen Rinnen als markante, helle Linien im sonst dunklen Riffgestein hervor und sollen deshalb im Folgenden als Sandlinien bezeichnet werden. Sie lassen sich in der Regel bis auf die Vorriff-Terrasse in mehr als 15 m Tiefe verfolgen. Die Sandlinien sind im Bereich des Vorriff-Abhanges von den dort in manchen Riffabschnitten auftretenden, wesentlich tieferen Brandungsrinnen auf Luftbildern nur schwer zu unterscheiden (vgl. Taf. 1, Fig. a u. b).

Der Bereich, in dem sich die Wellen bei normaler Dünung brechen, liegt in dem hier behandelten Riffabschnitt auffallenderweise nicht im Vorriff, sondern meist auf der Lagunenseite des Wallriffes zwischen den äußeren Spitzen der Riffsporne und den Kesseln am inneren Ende der Brandungsrinnen. Dies läßt sich besonders dort gut beobachten, wo die Rifflatte verhältnismäßig tief liegt, so daß sich die Wellen erst am Außenrand der Rifflatte aufbäumen und dann in den Außenbereichen des Rinnensystems umkippen. Nur bei besonders hoher Dünung brechen sie sich schon im Bereich der Kessel.

Hier in der Brandungszone auf der Lagunenseite des Riffes erreicht das Riffwachstum seine üppigste Ausbildung. Die meist vertikalen und vielfach auch überhängenden Seitenabhänge der Riffsporne werden ebenso wie die Rifflatte von einem dicht verfilzten Maschenwerk von *Millepora alcicornis* überwuchert. Diese hermatypische Hydrozoe tritt hier fast stets in Begleitung der kolonialen Zoanthide *Palythoa* sp. auf. Nicht selten beobachtet man fest verankert zwischen feinen *Millepora*-Ästen auch Kolonien von *Porites porites* sowie die Grünalge *Halimeda*. An weniger exponierten Stellen der Steilwand können auch Kolonien von *Agaricia agaricites* in ähnlicher Weise wie *Millepora* ein Gitter- und Maschenwerk bilden. An noch ruhigeren und meist auch schattigen Lagen verkleiden tellerförmige Kolonien von *Agaricia agaricites* und *Porites astreoides* die senkrechten Wände.

Die Riffplatte der breiteren Sporne wird besonders intensiv von der Brandung geschlagen. In seichten Bereichen der Brandungszone bilden die blaßgelben Kolonien von *Palythoa* sp. über größere Flächen einen zusammenhängenden, lederartigen Überzug. Da *Palythoa* kein Kalkskelett abscheidet und offensichtlich keine erosive Wirkung auf ihr Substrat ausübt, wird die Riffoberfläche vor der abrasiven Wirkung der Brandung geschützt, andererseits aber auch der Riffwuchs verhindert. Auf diese Weise konserviert *Palythoa* die bestehende Riffoberfläche.

Dort, wo die ozeanische Dünung nicht mit voller Wucht aufläuft, wie beispielsweise in geschützten Lagen hinter den Riffspornen, bildet *Acropora palmata* zusammenhängende Hecken, zwischen denen ebenfalls zahlreiche, große Kolonien von *Diploria strigosa* siedeln. Bei „Jack Bowie Hole“, einem Durchlaß für kleine Boote, liegt der Riffkamm auf der Innenseite bis über 3 m tief. Er wird hier fast durchweg von *Acropora palmata* gebildet. Einzelne Kolonien von *Acropora palmata* treten dagegen auch in stark brandungsexponierten Bereichen der Riffplatte auf und zeigen dann deutliche morphologische Anpassungen der Kolonien an die Bedingungen starker Wasserturbulenz bzw. an die dort herrschende Abrasion. So kann man nicht selten inkrustierende *palmata*-Kolonien beobachten, welche offensichtlich aus Bruchstücken hervorgegangen sind, die auf der Riffplatte festwuchsen und dort zu Krusten regenerierten. Gelegentlich bilden derartige Kolonien auch erneut Verzweigungen. Entsprechende Beobachtungen lassen sich auch bei *Acropora prolifera* machen. Erstaunlicherweise wurden gleichfalls *palmata*-artige Kolonien beobachtet, welche neben ihren *palmata*-Zweigen außerdem *prolifera*-Zweige ausbildeten.

Verfolgt man die Riffplatte des Wallriffes zum Vorriff-Abhang hin, dann stellt man eine starke Verarmung der Korallen- und Milleporenfauna fest. Der Bewuchs besteht hier nur aus wenigen, meist inkrustierenden Milleporen, vereinzelt *Diploria strigosa* und aus oft sehr großflächigen Überkrustungen von *Diploria clivosa*. Daneben treten verhältnismäßig viele Oktokorallen, besonders *Gorgonia*, auf. Der recht kahl wirkende Meeresboden besteht aus Kalkstein und wird besonders in diesem Bereich in auffallender Weise von roten Kalkalgen überkrustet. Derartige Verhältnisse lassen sich bis an den Fuß des Vorriff-Abhanges in ca. 8 m Tiefe verfolgen. Erst im Übergangsbereich zur Vorriff-Terrasse tritt in 8–10 m Wassertiefe wieder ein bemerkenswerter Korallenwuchs in Form von *Acropora palmata*-Hecken auf, welche zusammen mit *Diploria strigosa* sowie anderen, kleineren Scleractiniern und Oktokorallen den Felsboden besiedeln (vgl. Abb. 9, Profil 5).

Der Meeresboden zeigt im oberen Bereich des Vorriff-Abhanges in rund 2–3 m Wassertiefe zahlreiche Höhlen und Tunnel, deren Überdachung stellenweise eingestürzt ist. Beim Eintauchen in diese Höhlen kann man erkennen, daß die Höhlensysteme in fossilen Hecken von *Acropora palmata* verlaufen. Das Höhlendach wird von dicken Lagen roter Kalkalgen überkrustet. In den Bereichen, in denen diese fossilen *palmata*-Hecken vorkommen, wurden heute höchstens vereinzelte, meist inkrustierende Kolonien dieser Art beobachtet.

2.1.5. Vorriff-Terrasse (20 m-Terrasse) und Außenabhang

Der Vorriff-Abhang des Wallriffes leitet meist ohne scharfe Grenze zur Vorriff-Terrasse über. Stellenweise ist der Übergang jedoch an einem deutlichen morphologischen Knick in 8–10 m Wassertiefe erkennbar. Danach fällt die Vorriff-Terrasse mit sehr viel schwächerer Neigung in Richtung auf das offene Meer bis in etwa 20 m

Wassertiefe ein. Dabei erreicht sie eine Breite von 300–600 m, im N von „Johnny Cay“ etwa von 2 km.

Die Oberfläche der Terrasse erscheint unterhalb der erwähnten *palmata*-Hecken im 8–10 m-Tiefenbereich weitgehend frei von Korallenwuchs, so daß hier nackter, nur von Algen überzogener Kalkstein zutage tritt. Verstreut siedeln hier Oktokorallen, vor allem Kolonien von *Gorgonia* sp., sowie auch verschiedene inkrustierende Kolonien von *Diploria clivosa*. Stellenweise wurde auch eine dünne Vegetation von Braunalgen beobachtet. Einige der für das Wallriff so charakteristischen Sandlinien lassen sich ohne Schwierigkeiten über die gesamte Vorriff-Terrasse verfolgen. Sie laufen in 10–20 m Abstand parallel zueinander und sind generell in die von außen einlaufende Dünung gerichtet (vgl. Abb. 9, Profil 5; Taf. 1, Fig. a u. b).

An der Außenkante der Terrasse bildet der Außenabhang des Rifffkomplexes einen auffallend steilen Abbruch in das tiefe Wasser. Der Außenabhang wurde im N der Insel nicht durch Unterwasseruntersuchungen überprüft. Aus Echolotprofilen ergibt sich jedoch eine Abbruchkante in Tiefenlagen zwischen 18 und 25 m (Abb. 7, Profile E und F).

2.2. Der Ostabschnitt zwischen „Big Channel“ und „Sound Bay“

(Abb. 7, Profile A–E u. Abb. 9, Profile 4 u. 6; Abb. 10, Profil 7; Taf. 5, Fig. a–d; Taf. 6, Fig. a–b u. d)

Der Ostabschnitt des Insularschelfs besitzt eine wesentlich breitere Lagune als der Nordabschnitt. Größere Saumriffstrukturen vor der Küste fehlen hier vollständig. Darüber hinaus zeigen sich Unterschiede in der Ausbildung der Fleckenriffe. Das Wallriff schließt die Lagune nur im E gegen das offene Meer vollständig ab, ist aber im S auf größere Erstreckung unterbrochen. Es läßt sich durch verschiedene natürliche Durchlässe in die einzelnen Abschnitte „East Reef“, „Half-a-Reef“ und „Broken Ground“ untergliedern. Außerdem ist dem Wallriff im E jenseits einer bis mehr als 60 m tiefen Depression, dem „John Taylor Blue“, eine „ertrunkene“ Rifffstruktur, die sogenannte „Pallat Bank“, vorgelagert.

2.2.1. Die Saumriffe vor „Paradise Point“ und vor „Cotton Cay“

Die beiden einzigen und ausdehnungsmäßig sehr begrenzten Saumriffe wurden im Flachwasserbereich vor den beiden angegebenen Lokalitäten festgestellt. Sie erscheinen auf ähnliche Weise aufgebaut, unterscheiden sich aber in ihrer Faunenverteilung von den bisher beschriebenen Rifftypen.

Die Riffe zeigen eine ausgeprägte Riffflatte nahe dem Mittelniedrigwasserspiegel, welche zwischen der markanten Außenkante des Rifffes und dem Küstenkliff eine auffallende Verebnung bildet. Bei Niedrigwasser, insbesondere bei Springniedrigwasser, kann die gesamte Riffflatte trockenfallen. Ihre Oberfläche wird zum überwiegenden Teil von Sand bedeckt und in ihren zentralen Bereichen von einem dünnen Rasen von *Thalassia* bewachsen. Eine bootskanalähnliche Eintiefung ist nicht vorhanden. Nahe der Außenkante des Rifffes wird die Riffflatte in einem mehrere Meter breiten Saum von abgestorbenen Trümmern von *Porites porites* bedeckt und von zahlreichen feinverästelten Melobesien (? *Goniolithon strictum*) besiedelt. An der Außenkante fällt das Riff steil auf 0,5–1 m Tiefe zur Lagune ab. Dieser kleine Vorriffabhang zeigt einen überaus üppigen Wuchs von *Porites porites* var. *furcata*. Daneben finden sich nur relativ wenige andere Korallenarten, wie etwa *Favia fragum* und *Porites*

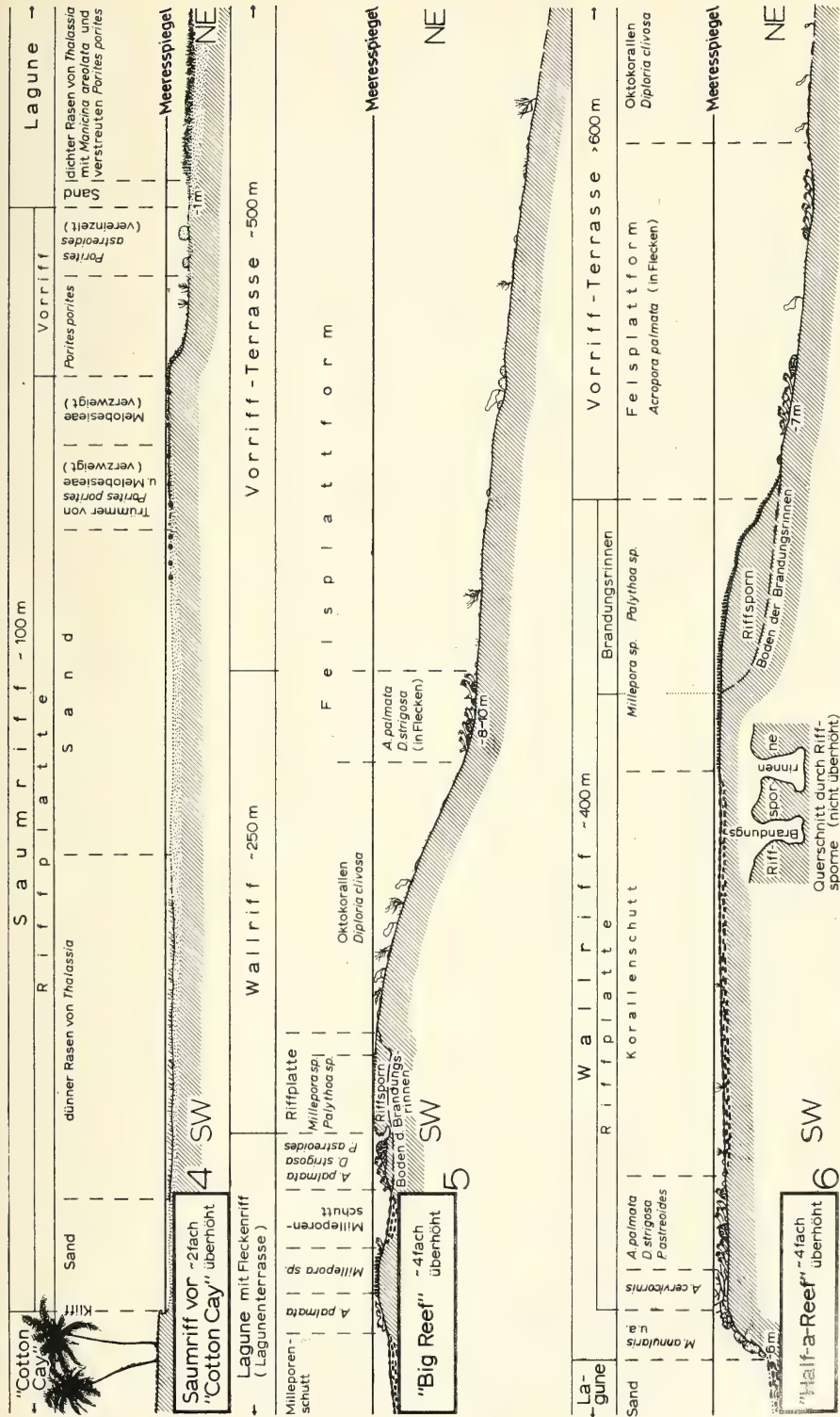


Abb. 9. Ökologisch-topographische Profile auf dem Insulars shelf von San Andrés.
4—6: Riffprofile "Cotton Cay", "Big Reef", "Half-a-Reef".
Ecological and topographical reef sections on the San Andrés insular shelf.
4—6: Reef sections "Cotton Cay", "Big Reef", "Half-a-Reef".

astreoides. Am Fuße des Riffes liegt Lockersediment, welches in kurzem Abstand vom Riff von einem dichten Seegrasrasen bewachsen wird. Im Übergangsbereich zum Rasen finden sich stellenweise vereinzelt oder in Gruppen siedelnde, große Kolonien von *Porites astreoides* (vgl. Abb. 9, Profil 4; Taf. 6, Fig. d).

Der aktiv wachsende Teil dieses Riffes scheint vor allem in der *porites*-Zone im Bereich des Außenabhanges zu liegen. Erreichen die *porites*-Kolonien den Niedrigwasserspiegel, dann sterben sie ab, wenn die Springniedrigwasserzeit mit einer Periode geringer Wellentätigkeit bei starker Sonneneinstrahlung zusammenfällt. Dieser Riffabschnitt wird danach offenbar von den verzweigten Melobesien besiedelt. Auf diese Weise wächst das Riff nach außen und bildet eine gleichmäßig ebene Riffplatte aus.

Bezeichnend für die Hydrodynamik beider Saumriffe ist das Auftreffen von induzierten Wellen und Residualwellen kleiner Amplitude und kurzer Wellenlänge, wodurch die Korallen an der Außenkante auch bei Niedrigwasser ständig benetzt werden, wenn das Riff stellenweise frei liegt. Eine vergleichbare Organismenzonierung bei ähnlichen hydrodynamischen Verhältnissen wird von TURMEL & SWANSON (in MULTER 1970, 83–85) von Rodriguez Key/Florida beschrieben.

2.2.2. Die Lagune mit Fleckenriffen

Die Lagune im E der Insel besitzt eine Nord-Süd-Erstreckung von 5 km und eine Ost-West-Erstreckung von 3 km. Die submarine Topographie erlaubt hier ebenfalls eine Untergliederung in ein Lagunenbecken und eine im E vorgelagerte Lagunen-Terrasse, welche an ihrem Außenrand an das Wallriff grenzt. Durch Fleckenriffe wird das Lagunenbecken in ein nördliches Teilbecken im Bereich der Hafenbucht und in ein südliches Teilbecken im W von „Haine Cay“ untergliedert. Die Wassertiefen in beiden Teilbecken übertreffen 10 m, sind aber im Süden im allgemeinen etwas größer. Die Lagunen-Terrasse erreicht 2 km Breite, liegt nur nahe der Innenkante tiefer als 2 m und fällt von dort in der Regel mit einem steilen Sandkliff zum Boden des Lagunenbeckens hin ab. Gegen W steigt der Lagunenboden ganz allmählich an und bildet vor der Küste der Insel zwischen „Old Point“ und „Sterthenberg Point“ einen breiten Flachwasserbereich mit Tiefen um 1–2 m. Dieser zeigt eine bemerkenswert ruhige Topographie, welche nur von einigen Fleckenriffen unterbrochen wird.

Der Boden von Lagunenterrasse und Lagunenbecken besteht vorwiegend aus feinem Lockersediment mit einem mehr oder weniger starken Anteil von Korallenschutt, besonders in Riffnähe, und unterscheidet sich deshalb in sedimentologischer Hinsicht nur wenig von dem Lagunenabschnitt vor der Nordküste der Insel. In den wellengeschützten Bereichen der tieferen Lagune, wie z. B. im Hafenbecken oder auch im Flachwasser der Mangrovendickichte, wird vor allem die Schlammfraktion sedimentiert, welche einen auffallend hohen Bestandteil organischen Materiales enthält. Ein deutlich erkennbarer H_2S -Geruch verrät die anaeroben Ablagerungsbedingungen der Sedimente in diesen Bereichen.

In den letzten Jahren ist das Hafenbecken stellenweise durch Auspumpen des Sandes von 2–3 m auf 6–7 m vertieft worden. Daraus ist zu schließen, daß sich in diesem Teil der Lagune mindestens 4–5 m holozäne Sande abgelagert haben. Im Südabschnitt der Lagune E von „Rocky Cay“ und vor „Sterthenberg Point“ fehlt dagegen weitgehend jegliche Sandbedeckung. Ist Sand vorhanden, so findet sich dieser in Mulden, während der übrige Lagunenboden von einer Terrasse aus pleistozänem Korallenkalk gebildet wird, wie er an den benachbarten Kliffen ansteht. Durch die diesem Bereich oft vorherrschende starke Wellenbewegung wird diese Terrasse

weitgehend von Sediment freigehalten. Der Felsboden zeigt nur eine sehr dünne Besiedlung durch Scleractinier, darunter vor allem inkrustierende Formen wie *Diploria clivosa*. Wesentlich häufiger treten hier Oktokorallen, und zwar vor allem *Plexaura* und *Gorgonia*, neben einer meist dünnen Vegetation von Braunalgen auf. Die Benthosbesiedlung in der übrigen Lagune entspricht im wesentlichen den beschriebenen Verhältnissen vor der Nordküste der Insel.

Im Hafenbecken von San Andrés und in anderen, meist tiefer gelegenen Lagunenabschnitten fallen auf dem Sandboden maulwurfhaufenartige Sandkegel ins Auge, neben denen sich in der Regel je ein deutlicher Sandtrichter befindet (vgl. Taf. 8, Fig. c). Wahrscheinlich handelt es sich hierbei um Grabbauten der Garnele *Callinassa* sp., von der Art, wie sie von SHINN (1968) beschrieben wurden. Die Bautätigkeit des Tieres konnte beobachtet werden. Das Tier selbst kam jedoch nicht zum Vorschein. Aus dem Bereich dieser Sande stammt eine artenreiche Molluskenfauna (GEISTER 1973a).

In geschützten Uferbereichen pflegt sich der feinste Schlamm abzusetzen. Hier siedelt fast ausschließlich die Rote Mangrove *Rhizophora mangle*. Seewärts schließt sich ein meist zusammenhängender Seegrasrasen (vorwiegend *Thalassia testudinum* und *Cymodocea manatorum*) an, der bis in etwa 8 m Tiefe in das Lagunenbecken reicht. Im Bereich der flachen Lagunenterrasse treten weder Seegras noch Mangroven auf. Eine Ausnahme bildet lediglich ein kleines Vorkommen von *Thalassia* im Lee von „Haine Cay“. Der Boden des Lagunenbeckens in mehr als 8 m Tiefe ist ebenfalls frei von zusammenhängendem Seegraswuchs.

Auch in der Lagune im E der Insel wurden drei verschiedene Typen von Fleckenriffen festgestellt. Fleckenriffe mit *Millepora* fehlen auf der Lagunenterrasse. Dies mag daran liegen, daß das Wallriff im E der Insel wesentlich flacher liegt und deshalb im Bereich der Lagunenterrasse an den Fleckenriffen keine ausreichende Brandung mehr auftritt. Andererseits wurden im Bereich des Lagunenbeckens flachliegende Fleckenriffe untersucht, welche im wesentlichen von *Porites porites* aufgebaut werden. Vergleichbare Bildungen wurden in der Lagune im N der Insel nicht festgestellt.

1. Fleckenriffe mit *Montastrea annularis* wurden sowohl im tieferen Wasser des Lagunenbeckens als auch in Küstennähe bis in weniger als 2 m Tiefe angetroffen (z. B. „Busty“). Ihre Faunenzusammensetzung entspricht derjenigen der Fleckenriffe mit *Montastrea annularis*, welche im tieferen Teil der Lagune im Nordsektor des Insularschelfes auftreten.

2. Fleckenriffe mit *Acropora palmata* treten stark zurück. Jedoch sind verschiedene, meist kleinere Hecken von *Acropora palmata* an exponierten Stellen am flachen Westabhang der Lagune vertreten, so z. B. im SE von „Long Shoal“ und im S von „Rocky Cay“. Ein einziges größeres Fleckenriff, rund 500 m NE von „Sterthenberg Point“, wird fast ausschließlich von *Acropora palmata* aufgebaut. Es liegt in einem Lagunenabschnitt, der nach E fast ungeschützt den Wellen des offenen Meeres ausgesetzt liegt. Der umliegende, 4–5 m tiefe Lagunenboden wird von Sand und Korallentrümmern bedeckt. Das Riff erhebt sich bis etwa 2 m unter den Meeresspiegel. Es ist keine Zonierung der Korallen feststellbar. *Acropora palmata* stellt die einzige quantitativ bedeutsame Korallenart dar.

3. Fleckenriffe mit *Porites porites* im Bereich des Riffkammes ähneln den Saumriffen von „Cotton Cay“ bzw. „Paradise Point“. Sie zeigen einen sehr charakteristischen Aufbau mit einem dichten Rasen von *Porites porites* var. *furcata* in den zentralen Bereichen und enden außen in 1–1,5 m tiefem Wasser mit einer meist nicht

zusammenhängenden Zone von *Montastrea annularis* und *Porites astreoides*. Der *porites*-Rasen ist in den höchsten Bereichen vielfach abgestorben und von roten Kalkalgen überzogen, da er bis in den Bereich des Niedrigwasserspiegels reichen kann. Stellenweise wird der abgestorbene Korallenrasen von Riffschutt überdeckt. Zu diesem Typ von Fleckenriffen sind „Dry Shoal“ und „Long Shoal“ zu zählen.

2.2.3. Wallriff („East Reef“), Vorriff-Terrasse und Außenabhang

Die Lagunenterrasse liegt in der Nähe des Wallriffes meist nicht tiefer als 1 m. Dadurch tritt beim Übergang zum Riff nur eine niedere, vielfach auch gar keine ausgeprägte Stufe auf. Das eigentliche, topographische Wallriff setzt mit der 30–50 m breiten Riffplatte ein. Diese leitet nach außen in den Vorriff-Abhang über, welcher auf etwa 8 m Tiefe zur Vorriff-Terrasse hinunterführt. Der Vorriff-Abhang zeigt ein ausgeprägtes System von Brandungsrinnen, die zum Teil über 100 m Länge erreichen und seewärts in die vorwiegend von E bis NE einlaufende Dünung gerichtet erscheinen. Mit ihrem inneren Ende können sie tief in die Riffplatte eingeschnitten sein. Brandungsrinnen und Riffsporne erreichen in der Regel nur wenige m Breite. Durch Gabelung können benachbarte Rinne in Verbindung stehen. Im allgemeinen wurde eine stärkere Verzweigungstendenz im Flachwasser als im tieferen Abschnitt des Vorriffes beobachtet. Dadurch sind die Rinneabstände in den flacheren Bereichen des Riffes in der Regel kürzer als am tiefer gelegenen Vorriff. Am Fuße des Wallriffes laufen die Rinne aus, setzen sich aber vielfach auf der Vorriff-Terrasse als Sandlinien fort. Die Brandungsrinne besitzen einen unregelmäßig V-förmigen bis U-förmigen Querschnitt, im letzteren Fall nicht selten mit überhängenden Seitenwänden. Südlich von „Mitchell Hole“, einem Durchlaß für kleine Boote, sind keine Brandungsrinne im „East Reef“ ausgebildet.

Der Riffkamm von „East Reef“ liegt im allgemeinen flacher als derjenige von „Big Reef“. Die Wassertiefe beträgt hier in der Regel nicht viel mehr als 0,5 m. Bei Springniedrigwasser kann daher der Riffkamm von „East Reef“ im Gegensatz zu demjenigen von „Big Reef“ auf größere Erstreckung hin trockenfallen.

Obwohl Lagune und Wallriff sich topographisch scharf gegeneinander abgrenzen lassen, setzt der Korallenwuchs stellenweise schon auf der Lagunenterrasse in Form von Korallenflecken ein. In Riffnähe finden sich hier nicht selten Hecken von *Acropora palmata*, in etwas größerem Abstand vom Riff auch Rasen von *Porites porites* und Gruppen von großen Kolonien von *Montastrea annularis*. Letztere sind oft in einer blumenkohlartigen Wuchsform entwickelt. Die Riffplatte selbst wird an ihrem lagunenseitigen Rand vielfach von einem dichten Pflaster der *astreoides-clivosa*-Fauna bewachsen. An den seichtesten Stellen, welche bei Springniedrigwasser trockenfallen, hat sich ein Pflaster aus Melobesien-Krusten gebildet. Vielfach wird die Riffplatte an solchen Stellen auch von einem Rasen aus Grünalgen und Braunalgen bewachsen. An einer Stelle im Nordteil von „East Reef“ hat sich ein kleiner Kalkalgenwall ausgebildet. Dieser besitzt einen steilen, etwa 30 cm hohen Außenrand an der Außenkante der Riffplatte, welcher in auffallender Weise die Wellen bricht. Die gesamte, vorwiegend aus Melobesienkrusten aufgebaute Kalkalgenstruktur ist nur auf wenige Meter Erstreckung entwickelt.

Gegen den Außenrand der Riffplatte setzt ein sehr kräftiges Wachstum von *Millepora* und auch von *Palythoa* ein. Stellenweise bildet hier *Palythoa* allein einen zusammenhängenden, mattenartigen Überzug. Im Bereich des Brandungsrinnensystemes

erreicht schließlich der Wuchs von *Millepora* und *Palythoa* seine beste Ausbuchtung. Die Riffsporne erscheinen als mehrere Meter breite und gelbliche submarine Hecken, welche auf der Vorriff-Terrasse auslaufen. *Palythoa* bewächst vornehmlich die höchsten Bereiche der Sporne, welche der Brandung am stärksten ausgesetzt sind. Die Seitenabhänge werden fast vollständig von einem dichten Maschenwerk von *Millepora* eingenommen. Außer *Millepora* tragen in diesen Bereichen nur wenige andere Arten zum Riffbau bei. Auffallend ist auch hier das Auftreten von *Porites* in den Zwischenräumen des *Millepora*-Gitters. In muldenförmigen Vertiefungen innerhalb des Wallriffes oder auch in geschützten Lagen hinter den *Millepora*-Hecken wurden vielfach größere Hecken von *Acropora palmata* festgestellt. Dort tritt sehr selten auch eine wellenresistente Wuchsform von *Acropora cervicornis* auf krustierender Basis auf. An den schattigen und überhängenden Seiten der Riffsporne sind entsprechend wie in „Big Reef“ tellerförmige Kolonien von *Agaricia* und *Pocillopora astreoides* verbreitet (vgl. Abb. 10, Profil 7; Taf. 5, Fig. a u. b).

Am Fuße des Wallriffes, gegen das äußere Ende der Riffsporne, haben sich große Hecken von *Acropora palmata* mit *Diploria strigosa* und wenigen anderen Korallenarten angesiedelt. Die weitgehend freie Kalksteinoberfläche zwischen den Hecken wird von roten Kalkalgen überkrustet und ist teilweise auch von Oktokorallen bestanden (Taf. 5, Fig. c).

Der Boden der Brandungsrinnen macht einen von Sediment überschliffenen Eindruck. In breiteren und auch tieferen Rinnenabschnitten ist er vielfach von Sandlage oder von abgerollten Korallentrümmern bedeckt. Die Brandungsrinnen bilden auch in „East Reef“ den Ausgangspunkt der Sandlinien, welche sich zur See hinüber über die gesamte Vorriff-Terrasse bis zum Außenabhang des Riffes in rund 10 m Tiefe verfolgen lassen.

Im Südabschnitt von „East Reef“, in dem keinerlei Brandungsrinnen ausgetreten sind, fällt die verhältnismäßig glatte und spärlich von Milleporen und *Palythoa* bewachsene Oberfläche des Vorriffes ziemlich gleichmäßig zur Vorriff-Terrasse hin ab. Sandlinien wurden auch hier festgestellt.

Der Übergang vom Vorriff-Abhang zur Vorriff-Terrasse ist etwa dort zu sehen, wo die Riffsporne in etwa 8 m tiefem Wasser auslaufen. Die Terrasse erscheint ziemlich eben und glatt; sie ist meerwärts schwächer geneigt als der Vorriff-Abhang und entspricht weitgehend der Vorriff-Terrasse von „Big Reef“. Als topographische Besonderheit wurde auf der Vorriff-Terrasse vor „Mitchell Hole“ eine mehrere Meter tiefe und etwa 30 m breite, riffparallele Rinne beobachtet, auf deren Boden Lockersediment angesammelt hat.

Die sessile Fauna tritt mit zunehmender Tiefe der Vorriff-Terrasse sehr rasch zurück. Die Oberfläche macht einen abradierten Eindruck. Auch hier wurden Sandlinien festgestellt, welche in 10–20 m Abstand in ostnordöstlicher Richtung verlaufen.

Der Steilabbruch des Außenabhanges beginnt in 18–20 m Wassertiefe. Hier stellenweise schon mehr als 10 m vor dem Abbruch setzt wieder ein dichteres Korallenwachstum ein. Es handelt sich vorwiegend um eine Fauna hemisphärischer Korallen mit viel *Montastrea annularis*. Nicht selten wachsen jedoch hier auch in größerer Zahl *Porites porites* vor allem im flachsten, riffseitigen Streifen dieses Korallenpflanzens. *Montastrea* tritt dagegen in der Nähe der Abbruchkante und darunter stärker in Erscheinung. Zumindest die oberen 10–20 m des Außenabhanges werden fast ausschließlich von einer Fauna massiger Korallen besiedelt, in der *Montastrea annularis* zahlenmäßig überwiegt.

Im Bereich von „East Reef“ sind Riff-Fische verhältnismäßig selten. Dies gilt besonders für den Bereich der Riffsporne und Brandungsrinnen. Dagegen wurden hier und im sich südlich anschließenden „Half-a-Reef“ Haie, und zwar vor allem der Riffhai *Carcharhinus* sp. und der Zitronenhai *Negaprion brevirostris*, häufiger angetroffen als in anderen Bereichen des Insularschelfs. Stark von Haien frequentiert wird sonst lediglich das verhältnismäßig kleine Gebiet zwischen dem „Top Blowing Rock“ und den „Table Rocks“.

2.2.4. Südende des Wallriffes („Half-a-Reef“) und Vorriff-Terrasse

„Tide Channel“, ein sandiger Durchlaß, welcher „Half-a-Reef“ von „East-Reef“ abtrennt, ist stellenweise durch Fleckenriffe blockiert und kann aus diesem Grunde nur von kleineren Booten benutzt werden. Es herrschen vorwiegend Fleckenriffe mit *Montastrea annularis* vor. Außerdem wurden in diesem Bereich auch größere Hecken von *Acropora cervicornis* angetroffen. Oktokorallen, vor allem *Plexaura* sp., sind hier auffallend häufig.

Im S von „East Reef“ liegt — durch den „Tide Channel“ abgetrennt und leicht nach W versetzt — das sogenannte „Half-a-Reef“. Auf der Außenseite von „Half-a-Reef“ lief im Mai 1973 der Frachter „Bahía Sanquianga“ auf. Sein Wrack ragt dort heute noch über Wasser und bildet eine nicht zu übersehende Seemarke. Wie alle frei endigenden Riffzüge ist „Half-a-Reef“ infolge von Erscheinungen der Wellenrefraktion einer besonders starken Brandung des offenen Meeres ausgesetzt. Da es in seinem Aufbau deutlich von dem nördlich gelegenen „East Reef“ abweicht, soll es hier gesondert behandelt werden.

Ein Querschnitt durch das Riff zeigt eine gut ausgeprägte 100–300 m breite Riffplatte, sowie auf dem anschließenden Vorriff ein ausgeprägtes Brandungsrinnensystem; auf der Lagunenseite wird die Riffplatte durch einen Steilabbruch von 2 m auf 4–6 m Wassertiefe begrenzt. Die Wassertiefe beträgt nahe der Lagunenkante etwa 1,5 m, verflacht sich aber zusehends in Richtung zur offenen See auf etwa 0,5 m. Daran schließt sich das Brandungsrinnen-System an (vgl. Abb. 9, Profil 6).

An der lagunenseitigen Kante des Riffes herrscht üppiger Korallenwuchs mit vielen großen Kolonien von *Montastrea annularis*, Mussiden und auch *Agaricia* vor. Daran schließen sich am Innenrand der Riffplatte Hecken von *Acropora cervicornis* an. In den seewärtigen, stärker wellenexponierten Lagen wurde ein auffallend dichter Wuchs von *Acropora palmata* festgestellt. Bei einem späteren Besuch im Mai 1973 zeigte sich, daß die hier ehemals üppig gedeihenden Hirschgeweihkorallen *A. cervicornis* wahrscheinlich durch Sturmeinwirkung ausnahmslos zertrümmert und abgestorben waren. Die Hecken von *Acropora palmata* zeigten jedoch keine größeren Schäden (vgl. Taf. 6, Fig. a u. b). Fast der gesamte, seewärts von diesen Korallenhecken gelegene Teil der Riffplatte ist von Korallen- und Milleporentrümmern übersät und zeigt so gut wie keinen Korallenwuchs. Erst im Übergangsbereich zum Brandungsrinnen-System setzt ein dichter Wuchs von *Palythoa* und *Millepora* ein. Beide Formen dominieren auch im Bereich der Riffsporne, welche offensichtlich fast ausschließlich von *Millepora* aufgebaut werden. Der Boden der Brandungsrinnen erscheint auch hier weitgehend frei von Korallenwuchs. Seine Oberfläche macht ebenfalls einen überschliffenen Eindruck und ist stellenweise von abgerolltem Korallenschutt bedeckt. Vereinzelt finden sich auch hier Kolonien von *Acropora palmata*. Stellenweise treten auf dem Felsboden breite Überkrustungen von *Diploria clivosa* auf (Taf. 5, Fig. d).

Die Seitenwände der Riffsporne sind steiler als im „East Reef“. Meist hängen sie auch stark in Richtung auf die Rinnen über und bilden auf diese Weise Schluchten, die sich nach unten deutlich verbreitern. Stellenweise erreichen derartige Brandungsrinnen bei 4 m Höhe einen kleinsten Durchmesser von kaum mehr als 1 m (vgl. Abb. 9, Profil 6). Am vorderen Ende der Riffsporne treten bis in etwa 7 m Wassertiefe größere und kleinere Hecken von *Acropora palmata* auf. Auch die Fächerkorallen *Gorgonia* sind hier auf der Vorriff-Terrasse verbreitet. Darüber hinaus zeigt die Vorriff-Terrasse einen ähnlich spärlichen Bewuchs durch Korallen wie vor „East Reef“. Sie erreicht mit über 1 km eine ungewöhnliche Breite. Ihre Außenkante wurde nicht untersucht. Nach den Echolotprofilen Abb. 7 B und C liegt die Abbruchkante in 18–20 m Tiefe. In 35 m Tiefe befindet sich örtlich ein Terrassenabsatz.

Im Bereich der Brandungsrinnen von „Half-a-Reef“ fiel während der Untersuchungen im Jahre 1970 die große Zahl dort lebender Riff-Fische auf. Besonders häufig wurden Doktorfische (*Acanthurus* sp.) und Papageienfische (*Scarus* sp.) beobachtet. Ständig gegenwärtig waren im südöstlichen Abschnitt des Riffes 2–3 m lange Riffhaie der Gattung *Carcharhinus*, welche gelegentlich in Gruppen bis zu fünf Individuen auftraten.

2.2.5. Der Außenabhang bei „Entrance“

Im SW von „Half-a-Reef“ setzt das Wallriff auf mehr als 1,5 km Erstreckung aus. In diesem Bereich geht die Lagune bzw. Lagunenterrasse unmittelbar in die Vorriff-Terrasse über. Die Außenkante der letzteren bildet hier eine weite, bogenförmige Einbuchtung nach N. Vom inneren Ende der Einbuchtung in nordwestlicher Richtung bildet die Terrasse eine minimal 6 m tiefe Rinne, welche von Schiffen benutzt wird, die in die Lagune und in den Hafen von San Andrés einfahren wollen. Die Lokalität führt aus diesem Grunde den Namen „Entrance“.

Der Außenabhang bricht auch hier in der gewohnten Weise an der Außenkante der Terrasse in 18–20 m Tiefe mit einem Neigungswinkel von schätzungsweise 45° gegen das offene Meer hin ab. Wie schon von der Vorriff-Terrasse des Wallriffes beschrieben, setzt auch hier kurz vor dem eigentlichen Abbruch auf der sonst kahlen oder zum Teil auch sandbedeckten Terrasse ein auffallender Korallenwuchs ein. Am steilen Außenabhang selbst bilden die Korallen bis zu mehrere Meter hohe, riegelartige Rücken, welche im rechten Winkel zur Außenkante in die Tiefe führen. Die Korallenfauna dieser Rücken besteht vorwiegend aus großen hemisphärischen Kolonien wie *Montastrea annularis*, *Colpophyllia natans*, *Montastrea cavernosa*, *Siderastrea siderea* u. a. Daneben treten auch Müssiden und Oktokorallen auf. Zwischen den Korallenrücken führen mehrere Meter breite Sandfächer am Außenabhang in die Tiefe. Diese Sandfächer haben sich offenbar durch eine ständige oder periodische Sandzufuhr aus dem Bereich der Lagune gebildet. Hinter der Außenkante der 20 m-Terrasse konnte sich der Sand absetzen und von dort in die Tiefe rutschen. Die Ablagerung des durchweg feinen Sandes geschieht offenbar in erster Linie bei Sturm, wenn im Bereich des Wallriffes eine starke Brandung herrscht, die feines Lockermaterial aufwirbelt und zugleich eine starke Strömung erzeugt, welche die Lagune bei „Entrance“ verläßt. Der Feinsand fällt dann im tieferen Wasser am Außenabhang aus.

2.2.6. Saumriff vor San Luis („Broken Ground“) und Vorriff-Terrasse

Das Riff setzt im E von „Sterthenberg Point“ wieder ein und läßt sich von dort

bis kurz vor „Sound Bay“ verfolgen. Es handelt sich hier jedoch nicht um ein Riff im ökologischen Sinne, sondern um eine submarine Schwelle, also ein rein morphologisches Riff, bei dem der Korallenwuchs mit Ausnahme von Oktokorallen, inkrustierenden Formen wie *Diploria clivosa* und vereinzelt Kolonien von *Acropora palmata* fast vollständig unterdrückt wird. Die Schwelle trennt einen meist nicht mehr als 2–3 m tiefen Bootskanal gegen die auch hier vorhandene Vorriff-Terrasse ab. Die Oberfläche des „Riffes“ zeigt keine größeren Unregelmäßigkeiten. Brandungsrinnen-Systeme sind auch andeutungsweise nicht vorhanden. Das Gestein macht einen überschliffenen Eindruck. Der Riffkamm liegt meist im Tiefenbereich von etwa 1–2 m. Nach außen fällt das „Riff“ verhältnismäßig steil zur Vorriff-Terrasse in 5 m Wassertiefe ab.

Im Bereich der submarinen Schwelle wurden zahlreiche Höhlen gefunden, welche zum Teil miteinander in Verbindung stehen. Besonders im nördlichen Abschnitt sind die Decken verschiedener dieser Höhlen eingestürzt und zertrümmert. Deshalb führt diese Lokalität den bezeichnenden Namen „Broken Ground“. Die Unterwasserbeobachtungen in den Höhlen lassen vermuten, daß die gesamte Riffstruktur aus fossilen Hecken von *Acropora palmata* und anderen großen Korallen aufgebaut wird. Die Höhlenbildungen lassen sich durchaus mit denjenigen im Vorriff von „Big Reef“ vergleichen. Offensichtlich hat sich auch im „Broken Ground“ das Höhlendach durch massive Kalkalgen-Überkrustung an der Oberfläche der Hecken gebildet, so daß man den eigentlichen Charakter der Riffbildung erst beim Eintauchen in die Höhlen erkennt.

Am Rande sei erwähnt, daß die submarinen Höhlen von „Broken Ground“ ein bevorzugter Aufenthaltort von großen Ammenhaien (*Ginglymostoma cirratum*) sind, welche dort nicht selten zu zweit oder auch zu dritt angetroffen wurden.

Die Vorriff-Terrasse zeigt einen ähnlich stark unterdrückten Korallenwuchs, wie er auch von den anderen schon behandelten Riffabschnitten beschrieben wurde. Der Außenabhang setzt wie gewohnt an der Abbruchkante in 18–20 m Tiefe ein und zeigt in der Regel eine zusammenhängende Besiedlung durch meist große, hemisphärische Korallen. In etwa 40 m Wassertiefe wurde stellenweise eine sandbedeckte Terrassenstufe festgestellt.

Der Boden des Bootskanals wird von einer Felsplattform gebildet, welche zur Küste hin vor einem niederen Kliff in den pleistozänen Kalken endet. Die hier siedelnde Korallenfauna besteht aus wenigen inkrustierenden Formen, in erster Linie aus *Diploria clivosa*, deren Kolonien vor „Occasion Call“ dünne Überkrustungen von mehr als 2 m Durchmesser bilden können. Das Riff endet im S vor „Sound Bay“ am „Big Channel“, einem 5 m tiefen Kanal, durch welchen der Bootskanal mit dem offenen Meer in Verbindung steht.

2.2.7. „Pallat Bank“

Die „Pallat Bank“ bildet einen isolierten, submarinen Rücken, welcher der Vorriff-Terrasse von „East Reef“ vorgelagert ist und im N in die „North End Bank“ übergeht. Ein 30–70 m tiefer und 1 km breiter Graben, „John Taylor Blue“ genannt, trennt sie von der Vorriff-Terrasse. Im S reicht ihr Kamm bis in 20 m Wassertiefe, fällt aber gegen N auf 25 m Tiefe ab. Einen Eindruck von der Topographie der Bank vermitteln die Profile Abb. 7 D, E und F. Bemerkenswert erscheint eine isolierte, kleinere Untiefe im Bereich von „John Taylor Blue“, welche durch Profil E wiedergegeben wird.

Im NE von „Haine Cay“ wurde die „Pallat Bank“ unter Wasser untersucht und fotografiert. Sie besitzt hier in 20 m Tiefe eine recht ebene Oberfläche und fällt sowohl nach E als auch nach W merklich ein. Die flachsten Bereiche werden von einem dichten Buschwerk von verzweigten Oktokorallen sowie von zahlreichen Scleractiniern und Schwämmen besiedelt. Unter den Korallen treten besonders *Colpophyllia natans*, *Diploria* sp., *Porites porites* sowie *Eusmilia fastigiata* hervor. Es war keinerlei Zonierung zu erkennen. Auffallenderweise waren auch hier die für die Vorriff-Terrasse so charakteristischen Sandlinien zwischen dem zusammenhängenden Korallenwuchs als helle Bänder zu erkennen.

2.3. Der Südostabschnitt zwischen „Sound Bay“ und „South Channel“

(Abb. 10, Profil 8)

Vor „Sound Bay“ setzt das Saumriff erneut ein. Es nähert sich gegen S zunehmend der Küste und ist mit Unterbrechungen bis an die Südspitze der Insel zu verfolgen. Die topographische Riff-Form erscheint am besten im N ausgebildet und verliert sich gegen Süden. Die Küste wird fast über die gesamte Erstreckung von einem Sandstrand, z. T. mit Strandsandstein, gebildet.

2.3.1. Von „Sound Bay“ bis südlich „Smichinal“

Vor „Sound Bay“ wird das Saumriff durch einen etwa 300 m breiten und im N bis 4 m tiefen Bootskanal vom Land abgetrennt. In Riffnähe ist hier der Meeresboden von Korallentrümmern bedeckt, im tieferen Wasser und vor der Küste herrscht grober bis feiner Sand vor. Lediglich in einem schmalen Streifen vor der Küste und auch im tieferen Wasser ist ein zusammenhängender Seegrasrasen vorhanden. Im S von „Sound Bay“ verengt sich der Bootskanal auf 50–100 m und verflacht sich auf meist nicht mehr als 1 m Wassertiefe. Der Meeresboden wird in diesem Bereich von Korallenschutt bedeckt, zum Teil streicht auch pleistozäner Kalkstein submarin aus. Letzterer wird von Seeigeln stark zerbohrt und von vereinzelt, inkrustierenden Korallen wie *Diploria clivosa* und *Porites astreoides* bewachsen. Nördlich und südlich von „Smichinal“ wird der Bootskanal beinahe in seiner gesamten Breite von einem üppigen Wuchs von *Acropora palmata* versperrt.

Gegen das Riff hin verflacht sich das Wasser auf 0,6 m und weniger. Der innere Bereich des Saumriffes wird in der Regel von einem Pflaster der *astreoides-clivosa*-Fauna sowie von einigen großen Hecken von *Acropora palmata* besiedelt. Im eigentlichen Brandungsbereich herrscht ein dichter Wuchs von Milleporen sowie von *Diploria strigosa* vor. Im Vorriff verarmt die Fauna außerhalb der Brandungszone auffallend stark. Es siedeln hier nur noch wenige Milleporen, vereinzelt Kolonien von *Acropora palmata*, große *Diploria strigosa* sowie Überkrustungen von *Diploria clivosa* neben zahlreichen Gorgonien. Im Bereich des Vorriffes wurden ebenfalls zahlreiche, teilweise eingebrochene Höhlensysteme beobachtet, welche hier auf ein fossiles Riff pleistozänen Alters hinweisen. Dies läßt sich besonders gut im Vorriff vor „Sound Bay“ und in der Nähe von „Smichinal“ beobachten.

Riffabhang und die Vorriff-Terrasse fallen in der bekannten Weise bis zur Abbruchkante des Außenabhanges in 18–20 m Tiefe ab. Die gleichmäßig ebene Ausbildung und stark unterdrückte Korallenbesiedlung der Vorriff-Terrasse unterscheiden sich nicht von den von „Big Reef“ und „East Reef“ beschriebenen Verhältnissen. Der Außenabhang ist steil und zeigt dann einen mehr oder weniger starken

Korallenbewuchs. Stellenweise kann er jedoch auch ein geringeres Gefälle aufweisen; dort wird er vorwiegend von Sand überdeckt. Auch in diesem Abschnitt des Insularschelfes wurde an verschiedenen, besonders steilen Abschnitten des Außenabhanges in schätzungsweise 35–40 m Tiefe ein kurzer Terrassenabsatz festgestellt. Letzterer wird von Sand überdeckt und erscheint deshalb im tiefen Wasser als weiße Fläche.

2.3.2. „Bocatora Hole“

Im E von „Rocky Point“ bildet die in 18–20 m Wassertiefe gelegene Abbruchkante der Vorriff-Terrasse eine weite Einbuchtung nach W. Dabei steigt sie bis zur inneren Biegung auf minimal 5 m Wassertiefe an, um danach in südöstlicher Richtung wieder auf 20 m Wassertiefe abzufallen. Im inneren Bereich dieser Einbuchtung versteilt sich der Außenabhang ganz beträchtlich und bildet hier ein senkrechtes Kliff, welches Handlotungen von einheimischen Fischern zufolge bis in Tiefen von über 200 m reichen soll. Dieser submarine Abgrund wird in San Andrés „Bocatora Hole“ genannt. Beim Tauchen ließen sich die obersten 40 m überblicken. In diesem Bereich bildet das Kliff eine vertikale Kalksteinwand, welche nur schwach von Krustenschwämmen, Algen und auch von vereinzelt Oktokorallen bewachsen wird. Eine Felsnische und eine z. T. zugewachsene Höhle in etwa 8 m Tiefe könnten einer alten Brandungshohlkehle entsprechen.

Von der Oberkante des Kliffs führt eine weitgehend ebene Kalksteinterrasse ohne Unterbrechung bis an die Küste bei „Rocky Point“. Hier ist kein Saumriff ausgebildet. Der Korallenwuchs erscheint ähnlich unterdrückt wie im Bereich der Vorriff-Terrasse anderer Riffabschnitte. Die Küstenlinie wird von einem Kliff im pleistozänen Kalkstein gebildet.

2.3.3. Von „Tana“ bis „South Channel“

Das Saumriff setzt schon vor „Tana“ mit einer ausgeprägten Riffstruktur wieder ein. Es reicht, abgesehen von einer Unterbrechung, dem „Elsie Bar Channel“, bis zur Südspitze der Insel. Zwischen Riff und Küste ist ein 0,5–1 m tiefer Bootskanal entwickelt. Das Riff bildet nur in seinem nördlichen Abschnitt eine deutliche Schwelle. Weiter im S siedeln die Korallen im Bereich der Brandungszone auf einer weitgehend glatten, leicht meerwärts geneigten Kalksteinoberfläche. Das Substrat liegt hier in der Regel nicht viel mehr als 0,5 m unter dem Meeresspiegel. Wohl aus diesem Grunde hat sich kein echtes Riff in diesem Bereich bilden können. Nur an einer Stelle unmittelbar nördlich von „Elsie Bar Channel“ zeigen sich erste Ansätze der Ausbildung eines Brandungsrinnen-Systems.

In dem nördlich von „Elsie Bar Channel“ gelegenen Saumriffabschnitt war folgende riffparallele Gliederung erkennbar:

1. Bootskanal mit Boden aus Korallengestein, weitgehend von Korallenschutt bedeckt.

2. Zusammenhängender Rasen von *Porites porites*, in tieferen, geschützteren Lagen vereinzelte kopfgroße Kolonien von *Montastrea annularis*.

3. 15 m breiter Riffstreifen, der von einem mehr oder weniger zusammenhängenden Pflaster der *astreoides-clivosa*-Fauna besiedelt wird.

4. 10–13 m breiter Riffkamm mit üppigem Wuchs von *Millepora* und *Diploria strigosa* und stellenweise vereinzelt Kolonien von *Acropora palmata*.

5. Seewärts vom Riffkamm ließ sich mit Ausnahme einiger krustenförmiger Kolonien von *Diploria clivosa* und vereinzelt Oktokorallen kein Korallenwuchs

feststellen. Im Flachwasser des Riffs außerhalb der Brandungszone zeigt der Felsboden eine stark von Seeigeln zerbohrte Oberfläche. Der Vorriff-Abhang geht fast unmerklich in die Vorriff-Terrasse über.

Der südliche Abschnitt des Saumriffes ist im Prinzip ähnlich entwickelt. Hier fehlt jedoch die innere Zone mit *Porites porites* vollständig. In der Nähe der Küste tritt südlich von „South End“ eine breite Sandzone im Bereich des Bootskanales auf, welche teilweise von einem zusammenhängenden Seegrasrasen bewachsen wird. In diesem Rasen wurden Kolonien von *Siderastrea radians* und *Porites porites*, nicht jedoch solche von *Manicina areolata* angetroffen.

Die Vorriff-Terrasse vor „Elsie Bar Channel“ zeigt besonders gut ausgeprägte Sandlinien. Sie laufen in NE-Richtung und enden an dem Abbruch in 18–20 m Tiefe. Von ihrem Ende laufen schmale Sandfächer am Außenabhang hinunter. Zwischen diesen Sandfächern liegen bis zu 2 m hohe Korallenriegel von meist unregelmäßigem Wuchs, welche ähnlich wie bei „Entrance“ überwiegend von großen, hemisphärischen Korallen gebildet werden. Vielfach setzt der Korallenwuchs schon am Außenrand der Vorriff-Terrasse mit einem stärkeren Wuchs von *Porites porites* ein, der dann in der Nähe der Außenkante in eine Fauna von *Montastrea annularis*, *Colpophyllia natans* und von Mussiden übergeht. Am Außenabhang selbst wurde auch *Scolymia lacera* festgestellt. Auch hier fand sich verschiedentlich ein Terrassenabsatz in rund 35–40 m Wassertiefe.

Vor „Elsie Bar Channel“ und auch weiter südlich wurden auf der Vorriff-Terrasse auffallende, muldenartige Vertiefungen beobachtet, welche in etwa parallel zum Riff verlaufen. Der Außenrand der Mulden befindet sich in rund 10 m Wassertiefe, der Rinnenboden liegt 4 m tiefer und ist von Sand und Korallenbruchstücken bedeckt. Es handelt sich um eine analoge Bildung wie der weiter oben beschriebene Graben auf der Vorriff-Terrasse von „East Reef“ bei „Mitchell Hole“. Im Südabschnitt der Vorriff-Terrasse fanden sich darüber hinaus in mehr als 15 m Tiefe an verzweigte Kanalsysteme erinnernde Erosionsbildungen, welche eine starke Ähnlichkeit mit den von KORNICKER & BOYD (1962, 665–667) vom Alacrán-Riff beschrieben und abgebildeten Rinnen zeigen. Der Verlauf der Rinnen erscheint willkürlich und ist offenbar weder an die vorherrschende Wellenbewegung noch an die submarine Topographie gebunden. Möglicherweise haben sie sich durch Wellenerosion entlang von tektonischen Bruchspalten bei einem niedrigeren Meeresspiegelstand gebildet.

2.4. Der Westabschnitt von „South Channel“ bis „German Point“

(Abb. 11, Profile 9 und 10)

Die Küstenlinie im W der Insel wird im Gegensatz zu der überwiegend sandigen Ostküste durchweg von einem Kalksteinkliff gebildet. Ein echtes, strukturelles Korallenriff hat sich im Bereich vor der gesamten Westküste nicht ausgebildet. Eine submarine Terrasse, welche von 8–10 m auf 15–20 m Wassertiefe abfällt und mit dieser Tiefenlage der Vorriff-Terrasse entspricht, kann dagegen vor der gesamten Küste verfolgt werden. Sie soll hier als 20 m-Terrasse bezeichnet werden. Unmittelbar vor der Küste liegt in der Regel eine zweite, flachere Terrasse mit einer Außenkante im Tiefenbereich von normalerweise 4–5 m, welche vor dem Küstenkliff in 0,5–1 m tiefem Wasser endet. Sie soll in den folgenden Ausführungen als 4 m-Terrasse bezeichnet werden. Die Verbindung zwischen 4 m-Terrasse und 20 m-Terrasse stellt

ein steiles, submarines Kliff dar, an dessen Basis in 8 m Tiefe eine ausgeprägte Hohlkehle nachgewiesen wurde, welche an verschiedenen Stellen das Kliff mehrere Meter weit unterschneidet und eine alte Küstenlinie markiert. Dort, wo sich keine 4 m-Terrasse gebildet hat, fällt das submarine Kliff mit dem heutigen Küstenkliff zusammen. An solchen Küstenabschnitten kann man daher an der selben Kliffwand sowohl eine Hohlkehle im heutigen Gezeitenbereich als auch eine weitere in 8 m Wassertiefe feststellen.

An verschiedenen Abschnitten der Kliffe vor der Westküste sind in örtlich unterschiedlich guter Entwicklung weitere Lösungshohlkehlen im Kalkstein ausgebildet, welche verschiedene frühere, kurzzeitige Meeresspiegelstände dokumentieren. Außer den beiden genannten Hohlkehlen wurden auch solche in 1, 2, 3, 4 und 6 m Tiefe festgestellt. Diese sind allerdings selten mehr als 1 m weit in das Kliff eingeschnitten und außerdem nur an wenigen Punkten nachgewiesen.

Südlich der Südspitze der Insel taucht die Außenkante der 4 m-Terrasse in südöstlicher Richtung immer tiefer ab, bis die 4 m-Terrasse schließlich mit der 20 m-Terrasse zusammenfällt. In diesen Bereichen macht die Kliffoberfläche einen extrem überschlif-fenen und gerundeten Eindruck. Im N verliert sich das submarine Kliff auf der Höhe von „German Point“ unter rezenten Sedimenten, taucht aber in nordöstlicher Fortsetzung im Wallriffabschnitt „Bar“ wieder auf.

2.4.1. Küstenkliff

Dort, wo die Wand des heutigen Kliffes zum Innenrand der 20 m-Terrasse in 8 m Tiefe unmittelbar abbricht, wird sie auch in ungeschützter Lage von verstreuten Kolonien einer recht zerbrechlich anmutenden Korallenfauna von *Agaricia agaricites* var. *purpurea*, *A. fragilis*, *Helioseris cucullata* und *Eusmilia fastigiata* sowie von Oktokorallen der Gattung *Plexaura* besiedelt. Weiterhin finden sich normalerweise *Montastrea annularis* sowie *Dendrogyra cylindrus* und *Millepora complanata* an solchen Stellen. Zwischen den Korallen haben sich nicht selten Seeigel der Gattung *Diadema* niedergelassen.

Das Küstenkliff am Innenrand der 4 m-Terrasse allerdings zeigt keinen vergleichbaren Korallenwuchs. Es ist vor allem von Braun- und Grünalgen bewachsen und nur stellenweise in beschränktem Maße von inkrustierenden Milleporen und Korallen besiedelt. Am Fuße des Kliffs in 1–2 m Tiefe erscheint das Gestein in der Regel von Geröll stark überschlif-fen, so daß auch hier eine Besiedlung durch Organismen weitgehend fehlt.

In Nischen im Kliff und unter dunklen Überhängen sowie in submarinen Höhlen im Bereich des 8 m hohen Kliffes wurden stellenweise Korallen angetroffen. Neben verschiedenen scheibenförmigen Agariciiden leben hier auch inkrustierende Formen wie *Madracis decactis*, *Madracis* sp. I und II. Inkrustierende, feuerrote Schwämme und die feinästigen Kolonien der Hydrozoe *Stylaster roseus* bilden darüber hinaus einen charakteristischen Bewuchs der Höhlenwände.

2.4.2. 4 m-Terrasse und Abbruch zur 20 m-Terrasse

Auf der 4 m-Terrasse kann man in der Regel folgende deutliche Parallelzonierung erkennen:

1. Ein mehrere Meter breiter Streifen vor dem Küstenkliff zeigt so gut wie keinen Bewuchs. Hier streicht der pleistozäne Kalk unmittelbar am Meeresboden aus. Die Felsoberfläche scheint durch Abrasion stark überschlif-fen (vgl. Taf. 10, Fig. d).

2. Im mittleren Terrassenbereich ist eine weitere küstenparallele Zone von teilweise über 100 m Breite erkennbar, welche durch einen auffallenden Wuchs von verzweigten Oktokorallen (vorwiegend *Plexaura* sp.) sowie charakteristischen Scleractiniern besiedelt wird. Bei den letzteren handelt es sich fast ausschließlich um kleinwüchsige, hemisphärische und inkrustierende Formen: Es überwiegen meist *Diploria clivosa* und *Siderastrea siderea*. Daneben treten *Diploria strigosa*, *Dichocoenia stokesii*, *Porites astreoides*, *Siderastrea radians* und *Isophyllastrea rigida* verhältnismäßig häufig auf. Allein *Dendrogyra cylindrus* bildet in diesem Bereich großwüchsige Kolonien. Lokal können auch Kolonien von *Acropora palmata* auftreten. Diese nehmen jedoch in diesem Biotop eine weitgehend inkrustierende Wuchsform an. Die Terrasse ist im Bereich der gesamten mittleren Zone zu weit weniger als 5 % durch Korallenwuchs bedeckt. Zwischen den einzelnen Kolonien streicht pleistozäner Kalk aus, der in der Regel von einem dünnen Film roter Kalkalgen überkrustet wird (vgl. Taf. 10, Fig. a, b u. c).

3. In den Außenbereichen der 4 m-Terrasse und insbesondere am Abbruch zur 20 m-Terrasse setzt ein auffallend starker Wuchs von Scleractiniern ein. Beherrschende Form ist *Montastrea annularis*. Daneben treten *Colpophyllia natans*, *Mussa angulosa*, *Isophyllia* sp., *Mycetophyllia lamarckiana* und *Eusmilia fastigiata* auf. Der Kliffabhang zeigt stellenweise einen solch starken Korallenwuchs, daß die Kliffkante ein riffartiges Aussehen gewinnt und die Hohlkehle in 8 m Tiefe stellenweise vollständig verdeckt wird. Dies kann man vor allem dort beobachten, wo der Außenrand der 4 m-Terrasse in mehr als 150 m Entfernung vom heutigen Küstenkliff zu liegen kommt (vgl. Taf. 7, Fig. a).

Diese so ausgebildeten küstenparallelen Zonen sind durch fließende Übergänge miteinander verbunden und deshalb nicht scharf gegeneinander abzugrenzen.

2.4.3. 20 m-Terrasse und Außenabhang

Auf der 20 m-Terrasse lassen sich eine bis 500 m breite Sandzone und ein zusammenhängender Korallenrasen unterscheiden, welche etwa parallel zur Küste verlaufen. Die Sandzone ist auf dem kliffseitigen Streifen der Terrasse entwickelt und erreicht ihre größte Breite an den Küstenabschnitten, an denen keine oder nur eine schmale 4 m-Terrasse vorhanden ist. Die Grenze zu dem seewärts gelegenen Korallenrasen ist so scharf, daß sie sich auf Luftbildern einwandfrei auskartieren läßt. Der Korallenrasen reicht bis an die Außenkante der 20 m-Terrasse. Diese befindet sich normalerweise in 18–20 m Tiefe, in der Einbuchtung vor „Poxhole“ jedoch in minimal 15 m.

Die Sandzone zeigt in der Regel so gut wie keinen Bewuchs. Nur örtlich begrenzt tritt fleckenweise ein schütterer Rasen von *Cymodocea* auf, so beispielsweise auf der besonders breiten Sandfläche vor „Masily“. Hier wurde auch eine größere Population von *Strombus costatus* angetroffen. Stellenweise sind Röhrenaale (*Nystactichthys* sp.) in der Sandzone weitverbreitet. Die an Lockersubstrat angepaßten Korallen *Manicina areolata* und *Siderastrea radians* wurden hier nirgends beobachtet.

Dort, wo sich keine 4 m-Terrasse gebildet hat und deshalb das Küstenkliff unmittelbar auf 8–10 m Wassertiefe abfällt, liegen vielfach größere Kalksteintrümmer in der Nähe des Innenrandes der Terrasse. Zweifellos handelt es sich bei den viele Kubikmeter großen Blöcken um Spuren der Klifferosion, welche bei 8 m tieferem Meeresspiegelstand erfolgte, den die erwähnte Hohlkehle dokumentiert. Diese Felsblöcke werden vielfach von einer artenreichen Korallenfauna riffartig besiedelt. Be-

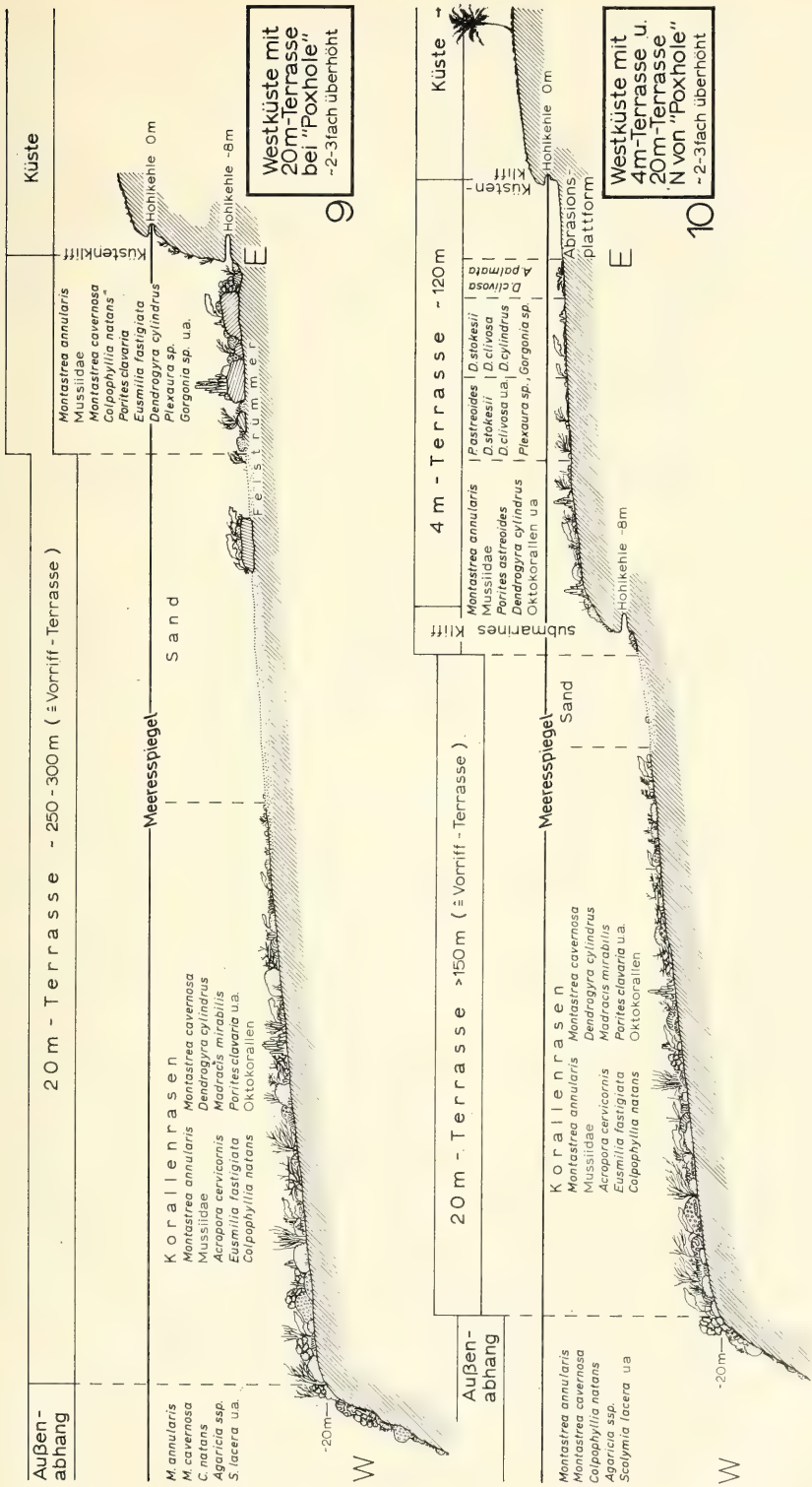


Abb. 11. Ökologisch-topographische Profile auf dem Insulars shelf von San Andrés.
9-10: Profile vor der Westküste der Insel.
Ecological and topographical reef sections on the San Andrés insular shelf.
9-10: Sections off west coast of island.

sonders fallen große Kolonien von *Montastrea annularis* sowie *Colpophyllia natans*, *Dendrogyra cylindrus* und verschiedene Mussiden ins Auge. In dieser Faunengemeinschaft fanden sich auch vereinzelt Kolonien von *Acropora palmata* und *Acropora cervicornis*.

Gelegentlich liegen Ansammlungen von Felstrümmern in einiger Entfernung vom Kliff inmitten der Sandflächen der 20 m-Terrasse. Da sie oft vollständig von Korallen überwuchert werden, gleichen sie echten, strukturellen Fleckenriffen, welche sich mehrere Meter über ihre Umgebung erheben. Beispiele hierfür bilden die drei kleinen „Fleckenriffe“ vor „Cat Bay“ im S der Insel.

Der die 20 m-Terrasse außerhalb der Sandzone einnehmende rasenartige Korallenwuchs läßt keine Untergliederung in Zonen erkennen. Mit Ausnahme von *Acropora palmata* werden hier so gut wie alle um San Andrés auftretenden Riffforallen angetroffen. Die Fauna erscheint stark vermischt (vgl. Taf. 7, Fig. b u. c). Neben Scleractiniern sind Oktokorallen weit verbreitet, deren Kolonien in diesem Bereich nicht selten mehrere Meter Höhe erreichen. Bei den Riffforallen fallen besonders große, massige Kolonien von *Montastrea annularis*, *Colpophyllia natans*, *Montastrea cavernosa* und *Siderastrea siderea* ins Auge. In den Zwischenräumen zwischen den großen Formen wachsen verzweigte Kolonien wie *Madracis mirabilis*, *Eusmilia fastigiata* und *Porites clavaria*. *Acropora cervicornis* bildet in Wassertiefen von 15–20 m eine bemerkenswert dünnästige Variante aus. Der Korallenwuchs ist besonders dicht und fast lückenlos im Bereich der Außenkante der 20 m-Terrasse. Hier treten die größten und am besten ausgebildeten Kolonien massiger Korallen, vor allem von *Montastrea annularis*, auf. Auffallenderweise wurden auch im Bereich des Korallenrasens ganz ähnliche Sandlinien festgestellt, wie sie auf der Vorriff-Terrasse der Ostküste und auf der „Pallat Bank“ auftreten. Im Bereich der Außenkante leitet die Fauna des Korallenrasens fließend in diejenige des Außenabhanges über.

Nahe der Nord- und Südspitze der Insel verbreitert sich die Sandzone auf Kosten des Korallenrasens und nimmt schließlich die Oberfläche der gesamten 20 m-Terrasse ein. Auch der höhere Außenabhang ist in diesem Bereich vielfach von Sand überdeckt, so daß hier kein Korallenwuchs auftritt. Gegen N bzw. S dünnt der Sand aus, so daß der bloße Felsboden unmittelbar auf der 20 m-Terrasse austreicht. Auch hier wurde am höheren Außenabhang kein Korallenwuchs festgestellt. Gegen das Nordende bzw. Südende des Insularschelfes von San Andrés taucht die Außenkante der 20 m-Terrasse bis auf Tiefen um 25 m ab.

Der Außenabhang bildet an der Westküste nicht selten einen ungewöhnlich steilen Absturz, der zumindest in seinen oberen 20 m oftmals mehr als 45° Gefälle erreichen kann (vgl. Taf. 7, Fig. d). In 35–40 m Tiefe ist vielfach auch hier ein sedimentbedeckter Terrassenabsatz ausgebildet. Oberhalb und unterhalb hiervon wird der Außenabhang von meist recht dichtem Korallenbewuchs besiedelt. Neben *Montastrea annularis* überwiegen im oberen Abschnitt *Colpophyllia natans* sowie zahlreiche Mussiden. Am Steilhang bilden verschiedene Arten von *Agaricia* große, dachziegelartige Kolonien. Ab 25 m Wassertiefe fallen besonders die großen Kolonien von *Agaricia undata* ins Auge. Von dieser Tiefe an treten auch Kolonien von *Scolymia* sp. häufiger auf. Der Außenabhang unterhalb des Terrassenabsatzes konnte im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht näher untersucht werden.

2.5. Der Nordwestabschnitt von „German Point“ bis „Snapper Shoal Channel“

(Abb. 12, Profil 11)

2.5.1. Wallriff „Bar“ mit Lagunenterrasse und Vorriff-Terrasse

Der einzige ausgebildete Wallriffabschnitt auf der Westseite des Insularschelfes von San Andrés liegt im N von „German Point“ und ist lokal unter dem Namen „Bar“ bekannt. Wie schon erwähnt, stellt dieses Riff topographisch die nördliche Fortsetzung des submarinen Kliffes dar, welches die Außenkante der 4 m-Terrasse bildet. Das Kliff und der Wallriffabschnitt im N werden durch den breiten „Point Channel“ unterbrochen. Zwischen dem „Top Blowing Rock“ und „Big Reef“ klafft eine Lücke in der ehemals offenbar durchgehenden Nordbiegung des Wallriffes, welche heute von einem breiten und flachen Durchlaß, dem „Snapper Shoal Channel“, eingenommen wird. Die frühere Existenz eines durchgehenden Wallriffes im N der Insel dokumentieren verschiedene Riffrelikte, so z. B. die „Table Rocks“ und andere submarine Felsen in dem fraglichen Bereich.

Die Lagunenterrasse erhebt sich mit einer bis 2 m hohen Stufe von dem hier rund 5 m tiefen Lagunenboden. Sie bildet eine unregelmäßige, von Rotalgen überkrustete Kalksteinoberfläche, in deren Vertiefungen sich lokal Sediment abgesetzt hat. An der lagunenseitigen Terrassenkante treten in örtlich unterschiedlich starkem Maße Hecken von *Acropora palmata* sowie auch andere Korallen auf. Gorgonien sind auf der Felsplattform im Gegensatz zu Scleractiniern relativ stark verbreitet. Unmittelbar hinter dem Wallriff haben sich auf der Lagunenterrasse in stärkerem Maße Grobsedimente abgelagert. Vor allem handelt es sich um Korallentrümmer aus dem Riff, in erster Linie von *Acropora palmata*. Lagunenwärts von den Korallentrümmern hat sich stellenweise in einem mehr oder weniger breiten Streifen sandiges Sediment abgesetzt.

Das Riff setzt am Rande der Lagunenterrasse meist ohne ausgeprägte Stufe mit mehr oder weniger zusammenhängendem Korallenwuchs ein. Die Wassertiefe in diesem Bereich liegt bei etwa 2 m. Meerwärts fällt die Riffoberfläche erst mit leichter, dann mit stärkerer Neigung bis auf etwa 4 m Tiefe ab, um schließlich steil zur Vorriff-Terrasse abzubrechen. In das Riff sind auf der Seeseite eine Anzahl breiter, kanalartiger Einschnitte eingetieft, welche in West-Ostrichtung orientiert liegen. Die bis zu schätzungsweise 40 m breiten Kanäle können bis zu 60 m weit in das Riff hineinreichen. Ihr ebener Boden fällt am Außenrand des Riffes mit der Vorriff-Terrasse zusammen, gegen das Riffinnere steigt er allmählich an und verliert sich schließlich auf der Riffoberfläche. Der Boden der Kanäle wird in seinem südlichen Abschnitt von feinem, weißem Sand, im Norden von Korallentrümmern bedeckt. Die zwischen den kanalartigen Einschnitten gelegenen Riffsporne sind in der Regel beträchtlich breiter als die Kanäle selbst, von denen sie sich mit fast senkrechter Kante erheben. Das gesamte Wallriff dürfte kaum mehr als 100 m Breite erreichen.

Die üppigste Korallenfauna gedeiht auf der seeseitigen Kante des Riffs sowie an den Seiten der Sporne. Dominierende Form ist hier *Montastrea annularis*, welche in halbkugelförmiger, schirmförmiger und blumenkohlartiger Wuchsform auftritt. Weit verbreitet sind ferner neben zahlreichen Oktokorallen *Colpophyllia natans*, *Siderastrea siderea* und stellenweise die mehrere Meter hohen Säulen von *Dendrogyra cylindrus*,

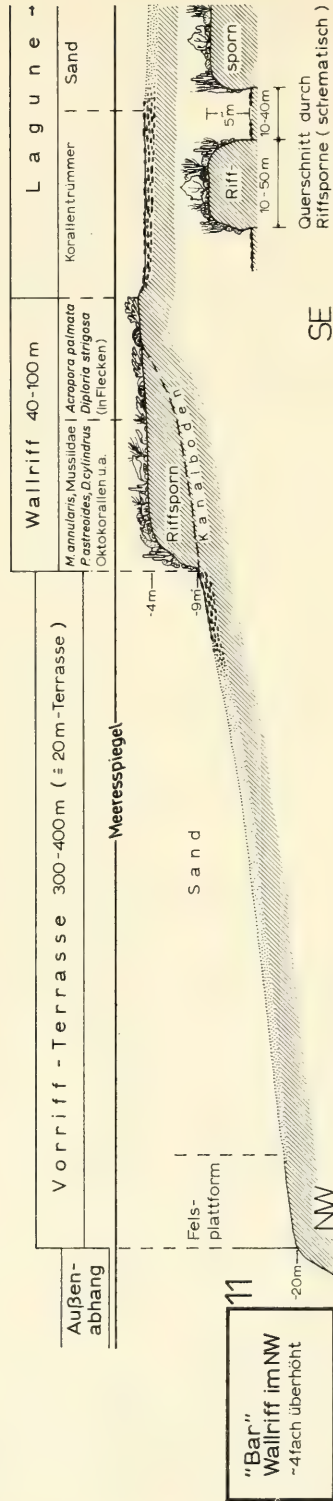


Abb. 12. Ökologisch-topographische Profile auf dem Insulars shelf von San Andrés.

11: Profil durch Wallriff im NW der Insel.

Ecological and topographical reef sections on the San Andrés insular shelf.

11: Section across reef barrier NW of island.

sowie *Diploria strigosa* und *D. labyrinthiformis*. Zwischen diesen großwüchsigen Formen finden sich zahlreiche kleine Kolonien von *Porites astreoides*, *Mussa angulosa*, *Isophyllastrea rigida* und *Agaricia agaricites*. Die auf dem Rücken der Riffsporne auftretende Korallenfauna entspricht artenmäßig der Fauna der Außenkante, jedoch sind hier die Kolonien meist kleiner und der Wuchs ist nicht mehr so dicht. Lediglich in den flachsten Innenbereichen des Riffes wurden Hecken von *Acropora palmata* mit *Diploria strigosa* beobachtet.

Im Nordabschnitt des Riffes nimmt die Besiedlung durch Korallen merklich ab. In zunehmendem Maße überkrusten rote Kalkalgen das Gestein. Die kanalartigen Einschnitte fehlen hier weitgehend. Bei den „Blowing Rocks“ erhebt sich der Riffkamm bis in den Gezeitenbereich oder auch darüber. Die Vorriff-Terrasse fällt von etwa 9 m Wassertiefe am Fuße des Riffes auf rund 400 m Erstreckung bis in etwa 18 m Wassertiefe ein. Hier schließt sich der Außenabhang an. In nördlicher Richtung taucht die Außenkante der Terrasse allmählich bis auf mehr als 25 m Wassertiefe ab. Der Innenrand der Vorriff-Terrasse in Riffnähe wird in der Regel von Sedimenten bedeckt und zwar im südlichen Abschnitt vorwiegend von Sand, im N dagegen von Korallentrümmern, welche nach außen ebenfalls in feineres Sedimentmaterial übergehen. Die Außenkante der Vorriff-Terrasse selbst sowie ihre nähere und weitere Umgebung sind sedimentfrei und zeigen eine überschliffene Kalksteinoberfläche. Am Außenabhang wurde, soweit von der Außenkante in 20 m Tiefe erkennbar, keinerlei rezenter Korallenwuchs festgestellt.

2.5.2. „Blowing Rocks“

Da das Nordende des Wallriffes gegen die Dünung aus NE freiliegt und die Wellen außerdem infolge Refraktion von nordwestlicher Richtung auf das Riff zulaufen, bilden sich durch Interferenz besonders hohe, springende Wellenkämme, welche eine außergewöhnlich starke Brandung zur Folge haben. Die stärkste Brandung tritt in den flachsten Bereichen des Riffes auf, welche aus diesem Grunde den bezeichnenden Namen „Blowing Rocks“ erhalten haben. Der südlich gelegene „Bottom Blowing Rock“ bildet eine massiv von roten Kalkalgen überkrustete Untiefe, welche kaum mehr als 30 cm unter dem Springniedrigwasserspiegel liegt. Hier fehlen mit Ausnahme von wenigen inkrustierenden Formen so gut wie alle Scleractinier. Der „Top Blowing Rock“ besteht im wesentlichen aus einem ausgeprägten Kalkalgenwall, der sich prinzipiell nicht von den echten Kalkalgenwällen pazifischer (vgl. EMERY et al. 1954) oder mancher brasilianischer Riffe (vgl. LABOREL 1967) unterscheidet, und der wie diese auch bei Mittelniedrigwasser weithin trockenfällt (vgl. Taf. 9, Fig. e). An seinem Vorriff-Abhang ist ein System von tief eingeschnittenen Brandungsrinnen entwickelt, welche auf die ebenfalls vorhandene 4 m-Terrasse hinabführen. Danach folgt ein kliffartiger Abbruch zur Vorriff-Terrasse (GEISTER, in Vorber.).

Der Riffkamm des „Top Blowing Rock“ wird im wesentlichen von dicken Überkrustungen aus Melobesien-Kalk gebildet. Unterhalb der Niedrigwasserlinie bildet *Palythoa* vor dem Kalkalgenwall z. T. zusammenhängende Matten. Hier sind auch Milleporen mehr oder weniger stark vertreten. Im Bereich der Riffsporne zwischen den Brandungsrinnen wurden fast ausschließlich Gorgonien sowie *Diploria clivosa* beobachtet. Hinter dem Kalkalgenwall ist eine breite Riffplatte entwickelt. Hier siedeln ebenfalls *Palythoa* und *Millepora* sowie auch *Porites astreoides*, *Diploria clivosa* und inkrustierende *Acropora palmata*. Im Bereich der Lagunenkante der Riffplatte setzt ein stärkerer Wuchs von *Acropora palmata* ein.

2.5.3. „Snapper Shoal Channel“ und „Table Rocks“

In diesem Bereich leitet die Vorriff-Terrasse ohne Unterbrechung durch ein Wallriff in die Lagunenterrasse über. Das Wasser ist hier über eine größere Erstreckung 6–8 m tief. Der Meeresboden bildet eine unregelmäßige Terrasse, auf der buckel- und pfeilerförmige Kalksteinrelikte stehen, welche im Falle der beiden „Table Rocks“ bis in den Niedrigwasserbereich hochragen. Es handelt sich dabei offenbar um Reste eines ehemals auch hier durchgehenden Riffwalles. Der Meeresboden wird von Oktokorallen und vereinzelt Scleractiniern bewachsen, wobei letztere teilweise eine ungewöhnliche Größe erreichen können. Es wurden hier gelegentlich Kolonien von *Diploria strigosa* von knapp 2 m Durchmesser sowie solche von *Acropora palmata* mit mehr als 5 m langen Ästen angetroffen (GEISTER, in Vorber.).

3. Der Insularschelf: Allgemeine Beschreibung der biologischen und morphogenetischen Vorgänge innerhalb des Riffkomplexes

3.1. Die Sedimentations- und Erosionsvorgänge im Bereich des Insularschelfes

Fast alle wichtigen geologischen Veränderungen innerhalb eines Riffkomplexes beruhen auf Vorgängen der lokalen Anlagerung oder Entfernung von festem Kalkstein bzw. von Lockersediment und werden deshalb an dieser Stelle als Sedimentations- und Erosionsvorgänge bezeichnet. Die Prozesse, welche die Gesteine von der Kalkbindung oder Kalzifikation bis zur diagenetischen Verfestigung durchlaufen, sind nachfolgend dargestellt (vgl. auch Abb. 13 u. 14).

3.1.1. Riffwuchs

Eine echte Riffbildung kann nur dort eintreten, wo sessile skelettbildende Organismen ein festes Substrat besiedeln und dabei auf der Unterlage mit ihrem Skelett festwachsen. Sterben diese Organismen ab, dann bilden ihre Skelette später das Substrat für eine neue Generation gleichartiger oder auch anderer sessiler Skelettbildner, was bei Vorherrschen günstiger ökologischer Bedingungen zu einem allmählichen, riffartigen Hochwachsen der festen Unterlage führen kann.

Haupt- und Nebenriffbildner, Hohlraumfüller

Wichtiges Merkmal aller echten riffbildenden Organismen des tropischen Korallen-Biotopes ist ihre Fähigkeit zu kalzifizieren, d. h. Kalziumkarbonat in gelöster Form aus dem umgebenden Wasser aufzunehmen und als festen Kalk in ihren Skeletten abzuschneiden. Die Kalkbildung erweist sich bei den Riffkorallen im gut durchlichteten Flachwasserbereich als besonders ausgeprägt, während sie bei schwacher Beleuchtung (z. B. in tieferem Wasser) sehr stark abfällt (GOREAU 1963, 155). Auf der besonders starken Kalzifikation der hermatypischen Korallen im gut durchlichteten und durch die Brandung von Sedimenten weitgehend freigehaltenen Flachwasserbereich beruht letztlich die Bildung der rezenten tropischen Korallenriffe.

Verschiedene sessile Organismen treten bei der Riffbildung stärker, andere weniger in Erscheinung. Die ersteren scheiden starre, wellenresistente und z. T. ziemlich große Skelette in bedeutender Anzahl ab und bilden so das tragende Gerüst der Riffstruktur. Alle Arten, die um San Andrés zumindest lokal in bedeutendem Maße am Riffbau beteiligt sind, sollen hier als Hauptriffbildner bezeichnet werden. Diese können in

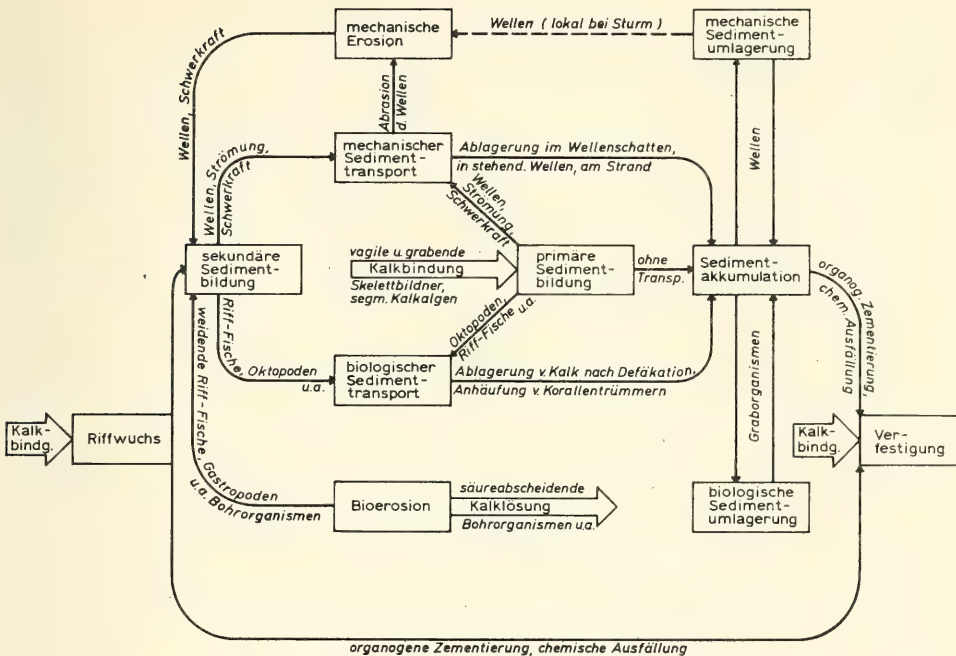


Abb. 13. Wirkungsweise und Wechselbeziehungen der Sedimentations- und Erosionsvorgänge innerhalb eines rezenten Riffkomplexes.

Diagram showing relationship between sedimentary and erosional processes occurring within a Recent reef complex.

bestimmten Riffabschnitten ganz untergeordnet oder auch nur vereinzelt vorkommen, wenn für ihr Gedeihen keine optimalen Bedingungen vorliegen. Sie werden an solchen Stellen durch einen anderen Hauptriffbildner vertreten. In der Regel herrscht nur diejenige Form vor, welche unter den gegebenen Verhältnissen die besten Lebensbedingungen antrifft. Nach den Beobachtungen um San Andrés sind folgende sessile Skelettbildner zu den Hauptriffbildnern zu zählen:

Die Kalkalgen-Gruppe *Melobesia*, die Hydrozoen-Gattung *Millepora*, die hermatypischen Korallen *Acropora palmata*, *A. cervicornis*, *Agaricia agaricites*, *Porites astreoides*, *P. porites*, *Diploria strigosa*, *D. clivosa* und *Montastrea annularis*. Alle genannten Formen können in gewissen Bereichen der Riffe von San Andrés sog. „Wellenzonen“ bilden, die weiter unten besprochen werden.

Neben den genannten Organismen leisten alle übrigen hermatypischen Korallenarten für sich betrachtet nur einen verhältnismäßig geringen Beitrag zum holozänen Riffbau, so daß dieser ohne die angeführten Hauptriffbildner nicht in der geschilderten Form möglich wäre. Diese übrigen hermatypischen Korallen sollen deshalb hier als **Nebenriffbildner** bezeichnet werden. Im Bereich der „Wellenzonen“ der Riffe treten sie untergeordnet als sogenannte **Zonenbegleiter** in Erscheinung.

Verschiedene sessile skelettabscheidende Organismen treten um San Andrés zwar recht häufig auf, tragen aber wegen ihrer oft verschwindenden Größe nur minimal zum Aufbau der Riffe bei. Sie kleiden Hohlräume aus und verfüllen diese auch teilweise durch Skelettabscheidung. Diese Gruppen von Organismen, welche streng ge-

nommen auch noch als Riffbildner angesprochen werden müssen, sind unter den Bedingungen von San Andrés selbständig nicht in der Lage, eigene, wenn auch bescheidene Riffstrukturen zu bilden. Sie sind dagegen z. T. bei der Verfestigung des Riffgesteines von Bedeutung. Zu diesen sessilen Skelettbildnern zählen u. a. sessile Foraminiferen (hauptsächlich *Homotrema rubrum*), Serpuliden, Bryozoen, Vermetiden sowie die Hydrozoen *Stylaster*. Auch die festgewachsenen Klappen gewisser Lamelli-branchiaten wie *Ostrea*, *Spondylus*, *Chama* usw. können zu dieser Kategorie von Rifforganismen gerechnet werden. Diese Gruppe wird hier als Hohlraum-füller bezeichnet.

Oberflächenstabilisierer

Verschiedene Organismen bilden im Bereich des Riffes zusammenhängende Überzüge überwiegend organischen Materiales, welche nicht oder nur minimal am Riffbau beteiligt sind. Durch sie wird eine mehr oder weniger große Oberfläche des Hartsubstrates eines Riffes verdeckt, so daß hier keine Möglichkeit für das Aufsiedeln von Riffbildnern und damit für einen weiteren Riffwuchs besteht. Andererseits verhindern diese organischen Überzüge weitgehend die Abrasion und z. T. auch die Bioerosion, während sie selbst anscheinend keinen Erosionseffekt ausüben. Auf diese Art und Weise konservieren sie die bestehende Riffoberfläche. Auffallendster und wahrscheinlich im Riffbereich bedeutendster Oberflächenstabilisierer im so definierten Sinne ist die koloniale Zoanthide *Palythoa* sp., welche vorwiegend im stark umbrandeten Flachwasserbereich lederartige, blaßgelbe Überzüge bildet. Die dünnen, vielfach stationären Überzüge bestimmter Melobesien, welche fast überall im Riff auftreten, sind trotz einer minimalen Kalkabscheidung letztlich auch als Oberflächenstabilisierer aufzufassen, da sie gleichfalls eine Besiedlung durch sessile Skelettbildner und leichte Erosion unterbinden.

Strukturelle Korallenriffe und Korallen-Vergesellschaftungen

Ein Riff, bei dem die Korallen, Milleporen und Melobesien durch Skelettbildung in der oben beschriebenen Weise wesentlich zur topographischen Riffbildung beitragen, soll hier in Anlehnung an WAINWRIGHT 1965 (zit. nach STODDART 1969, 436) als „strukturelles Korallenriff“ bezeichnet werden. Ein solches Riff wird charakterisiert durch sein fortschreitendes Emporwachsen über den umliegenden Sedimentationsraum. Vielfach reicht der Wuchs der Riffbildner aber nicht aus, um auch nur einen zusammenhängenden Überzug, geschweige denn eine emporragende Riffstruktur zu bilden. Derartige Bildungen können dann bestenfalls im ökologischen Sinne als Korallenriffe angesprochen werden, geologisch gesehen sind sie das nicht, da ihnen der strukturelle Aspekt fehlt. Es soll deshalb von einer „Korallenvergesellschaftung“ in all denjenigen Fällen gesprochen werden, in denen der holozäne Riffwuchs bislang noch keine topographische Riffstruktur gebildet hat. Korallenvergesellschaftungen mit besonders dicht zusammenstehenden Riffbildnern werden hier als „Korallenrasen“ bezeichnet. Überzieht eine Korallenvergesellschaftung beispielsweise einen submarinen Rücken, der erosiver Entstehung ist, dann erhält man eine scheinbare Riffstruktur, die zwar den topographischen, nicht jedoch den gleichfalls notwendigen strukturellen Aspekt mit einem „echten“ d. h. strukturellen Korallenriff gemeinsam hat. Ein derartiges „unechtes Riff“ stellt der weiter oben beschriebene „Broken Ground“ dar, bei dem es sich um einen pleistozänen Wall-

riff-Abschnitt handelt, der holozän nur äußerst dürtig besiedelt wurde. Bei dichterem Korallenüberzug kann ein solches topographisches „Riff“ ohne aufwendige Untersuchungsmethoden kaum von einem strukturellen Korallenriff unterschieden werden. Außerdem läßt sich in der Praxis eine klare und eindeutige Abgrenzung beider Strukturtypen auch deshalb nicht ohne weiteres durchführen, da beide unter vergleichbaren ökologischen Bedingungen eine ähnliche Verteilung der rezenten Korallenfauna auf ihrer Oberfläche zeigen können. Ein „strukturelles Korallenriff“ stellt damit ein „Riff“ entsprechend der Definition von VOGEL (1963, 685) dar, während der „Korallenrasen“ dem „Rasen“ des genannten Autors entspricht.

Verschiedene Anzeichen sprechen dafür, daß sich das gesamte holozäne Riffsystem von San Andrés geologisch gesehen noch in einem frühen Zustand der Besiedlung und daher noch nicht im Gleichgewicht befindet, seit der Insularschelf im frühen Holozän nach der letzten pleistozänen Meeresspiegelabsenkung wieder von der See überflutet wurde. Aus diesem Grunde sind auch die allermeisten der in dieser Abhandlung beschriebenen „Riffe“ wohl als Korallen-Vergesellschaftungen anzusehen. Dennoch kann man annehmen, daß sich aus diesen Korallen-Vergesellschaftungen bei Fortdauer günstiger ökologischer Bedingungen in den meisten Fällen in absehbarer geologischer Zukunft echte, d. h. strukturelle Korallenriffe bilden werden.

Als echte strukturelle Riffbildungen holozänen Alters wären in San Andrés am ehesten die mächtigen Riffsporne von „Half-a-Reef“ und „East Reef“ sowie die lagunenwärts gerichteten Sporne von „Big Reef“ anzusprechen.

Dagegen bildet das Saumriff an der Südostküste der Insel ein anschauliches Beispiel für eine Korallen-Vergesellschaftung. Das Substrat der rezenten Korallenkolonien wird hier von pleistozänem Korallenkalk gebildet, der sich stellenweise vom Küstenkliff über das Riff hinweg bis auf die Vorriff-Terrasse verfolgen läßt.

Auf Grund der vorliegenden Topographie und seines teilweise dichten Korallenwuchses könnte man das Wallriff im NW der Insel leicht für ein strukturelles Korallenriff halten. Seine Lage in der nördlichen Fortsetzung des submarinen Kliffs sowie die auch hier stellenweise auftretende 4 m-Terrasse sind jedoch Hinweise dafür, daß es sich hier lediglich um eine Erosionsform pleistozänen Alters handelt, welche nur unvollkommen von rezentem Korallenwuchs überdeckt wird.

3.1.2. Primäre Sedimentbildung

Verschiedene sessile Riff- und Lagunenorganismen wachsen nicht unmittelbar mit ihrem Kalkskelett auf dem Hartsubstrat fest, sondern bilden bewegliche, durch organische Substanz verbundene Skelettelemente. Nach dem Tode solcher Organismen lösen sich die einzelnen Skelettelemente aus dem Zusammenhang und werden als Lockersediment verfrachtet. Zu den so definierten primären Sedimentbildnern gehören in erster Linie Kalkalgen mit segmentiertem Skelett (*Halimeda*, *Penicillus*, Corallineae u. a.) und Oktokorallen sowie manche Schwämme.

Bedeutsamen Anteil an der primären Sedimentbildung haben ferner in unterschiedlichem Maße die Hartteile zahlreicher vagiler und grabender Organismen (Gastropoden, Lamellibranchiaten, Echinodermen, Foraminiferen u. a.), welche sowohl im Bereich des Riffes als auch der Lagune auftreten. Auch die Skelette der Lagunenkorallen *Manicina areolata* und *Siderastrea radians* tragen, da nicht mit dem Substrat verwachsen, zur primären Sedimentbildung bei.

Wie schon dem Riffwuchs kommt der primären, im Gegensatz zur später zu behandelnden sekundären Sedimentbildung eine besondere Bedeutung durch die Kalk-

bindung innerhalb des Rifffeldes zu, welche letztlich die Voraussetzung für alle weiteren hier abzuhandelnden geologischen Vorgänge bildet.

3.1.3. Erosion und sekundäre Sedimentbildung Bioerosion

Dem Riffwuchs wirken zahlreiche erosive Faktoren entgegen, welche auf der Aktivität von Organismen beruhen. An der Zerstörung der Skelette der riffbildenden Organismen sind vor allem Bohroorganismen (Bohralgae, Bohrschwämme, Bohrmuscheln, Seeigel) und darüber hinaus zahlreiche Tiere beteiligt, welche beim Abweiden von Fels und Korallen auch Kalkgestein abbeißen oder abraspeln und mit der Nahrung aufnehmen. Zu letzteren zählen bestimmte Riff-Fische und Gastropoden. McLEAN (1967) schätzt die Erosion, welche bestimmte herbivore Gastropoden mittlerer Größe im Zwischengezeitenbereich verursachen, auf mindestens 0,2 bis 2,4 Gramm pro Jahr und Individuum.

In denjenigen Fällen, in denen bei der Erosion Säure Verwendung findet, geht fester Kalk in Lösung. Im übrigen entsteht Lockersediment. Das vorliegende Kalkmaterial bleibt bei der Bioerosion dem Rifffeld zum überwiegenden Teil in ungelöster Form erhalten. Über die Bohrtätigkeit von Organismen in Korallenriffen und deren systematische Zuordnung hat OTTER (1937) ausführlich berichtet.

Mechanische Erosion

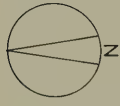
Die mechanische Abrasion in einem Riff findet hauptsächlich unter Einwirkung von Sturmwellen statt. Durch sie werden einerseits Korallen zertrümmert und andererseits die Bruchstücke über die harte Unterlage bewegt, was eine mehr oder weniger starke Abrasion zur Folge hat. Da das Abbrechen der Korallen unter der Wirkung ihrer eigenen Schwerkraft im Flachwasserbereich zurücktritt, wird die mechanische Riffzerstörung zum überwiegenden Teil durch Wellenenergie bewirkt.

Ein Sonderfall von mechanischer Riffzerstörung konnte um San Andrés immer dann beobachtet werden, wenn treibende Baumstämme auf das Riff aufliefen. Durch das Anheben und Senken der meist mehrere Tonnen schweren Stämme im Rhythmus der Wellenperiode und der Gezeiten wurden die darunterliegenden Korallen zermahlen. Während des Mahlvorganges rückte der Baumstamm, von den Wellen getrieben, im Laufe von Tagen und Wochen immer weiter in das Riff vor, eine breite Spur von zerbrochenen Korallen hinterlassend. Dieser Prozeß der Riffzertrümmerung fand immer erst dann ein Ende, wenn der Stamm auf diese Weise die Lagune erreicht hatte oder wenn er bei dem Mahlprozeß durch das scharfe Korallengestein im Laufe der Zeit zerraspelt worden war. Dabei entstanden im Bereich des Rifffeldes mehrere Meter breite Schneisen, etwa im rechten Winkel zur Längserstreckung des Rifffeldes, in denen der Riffwuchs vieler Jahre zerstört wurde. Auf den Schneisen pflegten sich danach Braunalgen anzusiedeln (Taf. 8, Fig. a).

Neben dem Riffwuchs wirkt der Abrasion vor allem die Oberflächenstabilisierung durch Krustenüberzüge von *Melobesia* und Matten von *Palythoa* entgegen. Darauf ist bereits hingewiesen worden.

Abb. 14. Verbreitung einiger wichtiger Sedimentations- und Erosionsvorgänge auf dem Insularschelf von San Andrés.

Distribution of major sedimentary and erosional processes on the insular shelf of San Andrés Island.



1 km



Riffwuchs, Erosion,
Sedimentbildung

Riffe u.
Korallen-
rasen

Riffwuchs,
Bioerosion, mech.
Erosion, primäre
u. sekundäre
Sedimentbildung

Hart-
grund

sekundäre
Sedimentbildung,
Abrasion,
wenig primäre
Sedimentbildung,
wenig Riffwuchs

Sedimenttransport
vorwiegend
durch

starke
Strömung.
an der
Westküste
nur bei
Sturm mit
westliche
Komponente
Wellen

Wellen

Küstenversatz

Sediment-
akkumulation:

Korallenschutt

Sand Kalkschlamm
(hier z.T. primäre
Sedimentbildung)

Strandschutt

Strandsand

Lagune

Strand

Kalke der Insel
u. innere Küstensümpfe

Sekundäre Sedimentbildung

Als Ergebnis von Bioerosion und mechanischer Erosion entsteht Lockersediment. Die Korngröße der Erosionsprodukte reicht von grobem Korallenschutt bis zu feinstem Kalkmehl und Schlick. Ausgangsmaterial für derartige „sekundäre Sedimente“ bildet sowohl das rezente Riffgestein, als auch der im Schelfbereich von San Andrés anstehende pleistozäne Kalk.

3.1.4. Sedimenttransport

Biologischer Sedimenttransport

Das durch Erosionsvorgänge und primäre Skelettbildung entstandene Lockersediment kann am Ort der Entstehung liegen bleiben oder aber zu einem besonderen Ort der Ablagerung verfrachtet werden. Wenn das Sediment von Riff-Fischen oder auch Gastropoden mit der Nahrung in die Verdauungskanäle aufgenommen wird, erfährt es zwangsläufig einen Transport durch die Ortsbewegung des Tieres, bevor es bei der Defäkation wieder ausgestoßen wird und zu Boden sinkt. Es scheint, daß dieser Vorgang nicht ortsgebunden ist, so daß damit verbundene Sedimentablagerung praktisch an all den Orten erfolgen kann, an denen sich diese Tiere aufhalten. Deshalb handelt es sich wohl um keinen gerichteten Transport, da sich die meisten dieser Organismen sowohl im Riff als auch in der Lagune aufzuhalten pflegen. BARDACH (1961) untersuchte den Transport von Kalkmaterial durch Fische in einem Riff der Bermuda-Inseln und kam dabei zu dem Schluß, daß wenigstens 2300 kg Kalksediment pro Jahr und Hektar von Riff-Fischen aufgenommen, transportiert und wieder abgelagert werden. Dieser Transport erfolgt hauptsächlich durch Papageienfische (Scaridae) und Doktorfische (Acanthuridae). Daneben sind auch Schmetterlingsfische (Chaetodontidae), Drückerrfische (Balistidae) u. a. von Bedeutung.

Oktopoden pflegen die nähere Umgebung ihres Baues durch größere Mengen zusammengetragener Korallenbruchstücke und Muschelschalen zu markieren. Sie bilden dabei auffallende, flache Steinhäufen, welche normalerweise 1–2 m Durchmesser erreichen. Derartige Häufen von kleineren Korallentrümmern und Molluskengehäusen wurden in größerer Zahl auf den Sandflächen der tieferen Lagune festgestellt. Der Transport des Materiales kann sowohl in das Riff als auch in die Lagune erfolgen, da diese Bauten in beiden Bereichen angetroffen werden. Eine eingehendere Untersuchung der Rolle der Riff-Fauna beim Sedimenttransport findet sich bei CLIFTON (1973).

Mechanischer Sedimenttransport

Transport durch Strömung

Eine Verfrachtung von Sediment durch Strömungen wird dort ermöglicht, wo Feinmaterial von der Brandung aufgewirbelt und danach von einer starken Strömung transportiert wird, so lange es sich in der Schwebelage befindet. Für einen mehr als nur wenige Meter betragenden Transport kommt auch bei starken Strömungen naturgemäß nur das allerfeinste Sediment in Frage. Die Vorgänge der Sedimentverfrachtung durch Strömung lassen sich am besten bei Sturm beobachten, da dann einerseits viel feines Sediment durch starke Brandung in Riffnähe aufgewirbelt wird, andererseits auch eine besonders kräftige Abflußströmung hinter dem Riff auftritt, welche den Sedimenttransport ermöglicht. So kann man gerade bei Sturm Sedimenttransport vom Wallriff über die Lagunenterrasse zum Lagunenbecken hin beobachten, der zu-

mindest weitgehend auf Strömungseinwirkung beruht. Bei diesem Transport tritt außerdem ein gewisser Sortierungseffekt der Sedimentfraktionen ein. Die größten Komponenten bleiben unmittelbar hinter dem Riff liegen. Die kleineren Stücke werden noch teilweise über die Lagunenterrasse gespült, wobei sie dort vielfach in Form von Schuttfahnen zur Ablagerung kommen. Das allerfeinste Material kann dagegen von der Strömung bis in das Lagunenbecken verfrachtet werden. Der Effekt der Schuttfahnenbildung findet seine wahrscheinliche Erklärung in der unterschiedlichen Durchströmungsgeschwindigkeit des Wassers am Innenrand des Wallriffes.

Dort, wo die stärksten Abflußströmungen den Insularschelf verlassen, hat sich auf der Vorriff-Terrasse durch das aus dem strömenden Wasser ausfallende feine Sediment eine breite Decke aus Kalksand der feinsten Fraktionen gebildet. Dies kann man besonders schön vor der Nord- und Südspitze der Insel beobachten. Aber auch im Bereich von „Entrance“ verläßt bei Sturm eine starke, mit feinem Sediment beladene Strömung die Vorriff-Terrasse, so daß sich dort am Außenabhang zwischen den beschriebenen Korallenriegeln eine mächtige Lage feinen Sedimentmaterials absetzen konnte.

Bei Wind mit westlicher Komponente tritt auch an der normalerweise ruhigen Westküste eine Brandung auf. Die sich dabei ausbildenden Brandungsrückströmungen transportieren das aufgewirbelte und bei der Abrasion entstehende Feinsediment an bestimmten Stellen in Richtung auf das offene Meer. An diesen bildet die Sanddecke auf der 20 m-Terrasse weit nach W in den Bereich des Korallenrasens hineinreichende Sandzungen (Abb. 14). Auffallenderweise finden sich diese Stellen immer dort, wo vor dem Küstenkliff keine 4 m-Terrasse ausgebildet ist. Man könnte daraus schließen, daß beim Einlaufen der Wellen auf der 4 m-Terrasse ein gewisser Stau von Wasser entsteht, welches nach dem Branden der Welle seitlich auf die tiefergelegene 20 m-Terrasse und von dort zum offenen Meer abfließt.

Durch Strömungen gerät, wenngleich in sehr beschränktem Maße, auch fremdes Gesteinsmaterial auf den Insularschelf und kommt dort vorwiegend im Bereich des Strandes zur Ablagerung. Dies ist dann der Fall, wenn treibende Baumstämme vom mittellamerikanischen bzw. südamerikanischen Festland an der Küste von San Andrés auflaufen, in deren Wurzelwerk, wie mehrfach beobachtet, mehrere Zentner von meist basischen Eruptivgesteinen und Erde festgehalten werden können. Das Gestein löst sich an der Küste schließlich im Laufe der Zeit aus dem Wurzelgeflecht und wird zusammen mit den lokalen Küstensedimenten abgelagert. Hinweise auf gelegentliches Antriften von Bims, wie das von pazifischen Atollen beschrieben wird (SACHET 1955), haben sich um San Andrés nicht finden lassen (Taf. 2, Fig. c).

Verschiedentlich wurden dagegen, so z. B. bei „Rocky Cay“, Ansammlungen von meist großen, abgerollten Brocken von Vulkaniten und Metamorphiten angetroffen, welche von Kalkalgen so stark überkrustet waren, daß sich ihre Natur erst nach dem Anschlagen mit dem Geologenhammer offenbarte. In diesen Fällen handelt es sich um Ballast von Segelschiffen, welche bis vor etwa 30–40 Jahren fast ohne Ladung nach San Andrés kamen, um die Kokosnußernte der Insel in die Vereinigten Staaten zu transportieren.

Transport durch Wellen

Das Wasser führt beim Durchgang der Wellen durch den Flachwasserbereich eine Pendelbewegung aus. Die dabei in Ausbreitungsrichtung durchflossene Strecke ist etwas größer als die in der entgegengesetzten Richtung, so daß ein Nettotransport des auf dem Boden mitgeführten Sedimentes in Ausbreitungsrichtung der Wellen erfolgt. Je nach Stärke der Wellenbewegung wird nur feines oder auch gröberes Material bewegt. Dadurch ergibt sich eine auffallende Sortierung des Sedimentes. Geschieht dieser Wellentransport von lockerem Kalkmaterial auf hartem Untergrund,

dann kann das Abrasion und damit auch eine sekundäre Sedimentbildung zur Folge haben.

Durch Küstenversatz an Sandstränden ergibt sich bei einer vorherrschenden Auf-
treffrichtung der Wellen ebenfalls ein gerichteter Transport von Feinmaterial entlang
der Küstenlinie.

Sturmwellen reißen grobes und feines Material mit sich und können es in ruhigem
Wasser oder auch weit landeinwärts als Sturmstrand ablagern. Bei Hurrikanen wurden
auf San Andrés zahlreiche große Felsbrocken von vielen Tonnen Gewicht vom Kliff
der Westküste abgerissen, 100–150 m landeinwärts gespült und dort mehrere Meter
über dem Meeresspiegel abgesetzt (Taf. 11, Fig. a).

Transport durch Schwerkraft

Dort, wo grobes oder feines Sedimentmaterial durch Wellenbewegung oder
Strömung bis über die Außenkante eines Steilabbruches verfrachtet wird, setzt es sich
im tiefen Wasser am steilen Außenabhang ab. Es ist anzunehmen, daß sich bei ge-
nügend großem Neigungswinkel von hier zeitweise größere Sedimentmassen lösen
und als „Sandfälle“ in die Tiefe rutschen (vgl. SHEPARD 1963, 320).

Am steilen, von Korallen bewachsenen Außenabhang können einzelne Korallen
oder auch Korallenmassen allein durch die Wirkung der Schwerkraft abrutschen, wenn
sie von ihrer Unterlage beispielsweise durch die Einwirkung von Bohrorganismen
gelöst werden (vgl. auch GOREAU & HARTMAN 1963, 46).

3.1.5. S e d i m e n t a k k u m u l a t i o n

Auf Transport und Ablagerung von Sediment und Korallenfragmenten durch
Riff-Fische, Gastropoden und Oktopoden ist bereits eingegangen worden. Diese Ma-
terialien können nach dem Transport sowohl im Riff als auch in der Lagune ab-
gesetzt werden. Das feine, von den Organismen abgesetzte Material scheint in der
Regel von den Wellen in die Lagune verfrachtet zu werden und hauptsächlich dort
zur Ablagerung zu kommen. Bei dem nach einem Transport durch mechanische
Agentien abgelagerten Material kann zwischen Lagunen- und Strandsedimenten unter-
schieden werden, je nachdem, wo die endgültige Ablagerung erfolgt.

L a g u n e n s e d i m e n t e

Das von den Wellen transportierte Sediment kommt im Bereich des Riffkomplexes
erst dort zur Ruhe, wo es den Einflußbereich der effektiven Wellenbewegung verläßt.
Dies ist sowohl im tieferen Wasser unterhalb der Wellenbasis der Fall als auch in
den Konkavformen des Riffkomplexes, welche zwangsläufig immer im Wellenschatten
von Riffen und Gebieten flacheren Wassers liegen. Aus diesem Grunde finden sich
Ablagerungen von Lagunensedimenten sowohl in Lagunenbecken und Bootskanal als
auch auf der wellengeschützten 20 m-Terrasse vor der Westküste, dem Terrassen-
absatz in 35–40 m Wassertiefe und stellenweise auch am Außenabhang (Taf. 6,
Fig. c).

Im Bereich des Seegrasrasens wird das feine Material durch einen Sedimentfallen-
effekt ausgefällt und zwischen dem Wurzelwerk der Pflanzen stabilisiert (GINSBURG
& LOWENSTAM 1958, 312–314). Dies beruht in erster Linie darauf, daß sich zwischen
den einzelnen Seegrashalmen ein hydrodynamisches Mikromilieu mit wesentlich nied-
rigerem Energieniveau ausbildet als auf den benachbarten, freien Sandflächen. Daher
können Sandkörner, welche sich hier absetzen, in der Regel von den Wellen nicht

wieder aufgewirbelt werden. Auf diese Weise kann im stärker wellenbewegten Bereich der Lagune eine beträchtliche Akkumulation auch feiner Sedimente erfolgen, da die Pflanzen während der Sedimentation mit nach oben wachsen und dabei das neu eingefangene Lockermaterial mit ihren Wurzeln festhalten. Solche grasbedeckten Sandbänke können bis in den Bereich des Niedrigwasserspiegels hochwachsen, so daß bei Springniedrigwasser der Rasen in den flachsten Bereichen trockenfallen und durch Sonneneinstrahlung und Überhitzung absterben kann (Taf. 6, Fig. d).

Eine vergleichbare Auswirkung auf die Sedimentation im schwach wellenbewegten Bereich der flachen Lagune zeigen auch die Roten Mangroven (*Rhizophora mangle*), welche die Schlammakkumulation im Flachwasserbereich in so starkem Maße fördern, daß es hier, über längere Zeiträume betrachtet, zu einer bleibenden Landbildung kommen kann (DAVIS 1940, 383—385). Da Mangroven nur im äußerst schwach wellenbewegten Milieu siedeln, wird hier fast ausschließlich die feinste Fraktion wie Kalkschlamm und Feinsand akkumuliert (Taf. 2, Fig. d).

Die Ablagerung des von der Strömung transportierten Materiales findet dort statt, wo keine ausreichend starken Strömungen für einen Weitertransport mehr auftreten. Dies kann man an solchen Stellen beobachten, an denen sich das Wasser plötzlich vertieft, wie etwa hinter einem Terrassenabsatz. Im Schutz solcher Abbrüche fehlt dann in der Regel auch jede Wellenbewegung, welche das Sediment erneut aufwirbeln und weiter transportieren könnte.

Das durch die Schwerkraft transportierte Material kommt dort zur Ruhe, wo der Ablagerungswinkel so klein ist, daß ein weiteres Abrutschen der Sedimente und Korallentrümmer nicht mehr erfolgen kann.

Stirbt skelettbildendes Benthos wie etwa Mollusken oder Echinodermen in den Lagunensedimenten ab, so können deren Hartteile nach dem Tod im Sediment verbleiben. In diesem Fall erfolgt eine Akkumulation von Skeletten ohne vorherigen Sedimenttransport.

Im gesamten Bereich der dünnungsexponierten Vorriff-Terrasse wurde keinerlei Sedimentakkumulation festgestellt, so daß hier überall der pleistozäne, nur schwach von sessilen Organismen besiedelte Kalkstein am Meeresboden ausstreicht. Offenbar wird das anfallende Feinsediment von den Wellen über die Vorriff-Terrasse zum Riff und von dort in die Lagune transportiert, wo es dann schließlich zur Ablagerung kommt.

Die quantitativ bei weitem wichtigsten Komponenten der Lagunensedimente von San Andrés bestehen aus Kalkalgenfragmenten, Foraminiferen, Korallendetritus, Molluskenschalen und Echinodermenresten. Anorganische Komponenten, wie etwa Kalkooide, haben sich zumindest makroskopisch nicht feststellen lassen. Alle echten Lagunensedimente zeigen im Gegensatz zu den Strandsedimenten keinerlei Rundung. Eine Sortierung nach der Korngröße läßt sich nur im wellenbeeinflussten Flachwassergebiet erkennen. So findet sich die größte Fraktion von Korallentrümmern in einem mehr oder weniger breiten Streifen auf der wellenabgewandten Seite der Riffe. Mit zunehmender Entfernung vom Riff kann man dagegen generell eine Abnahme in der Korngröße der groben Bestandteile feststellen. Im Bereich des für die Wellen nicht erreichbaren Bodens des Lagunen-Beckens liegen die Sedimente in der Regel völlig unsortiert von groben Korallentrümmern bis zu feinem Kalkschlamm. Im Bereich des Seegrases im flachen Küstenbereich wird vorwiegend die Sandfraktion, im Bereich der Mangrovenwälder überwiegend die Schlammfraktion sedimentiert.

Strandsedimente (Bay-Formation)

Da der Wellentransport im Flachwasserbereich der Küste hauptsächlich landwärts gerichtet ist, sammelt sich die Sandfraktion des Lockersedimentes im flachsten Küstenabschnitt und wird von dort bei stärkerem Wellengang zum Strand aufgeworfen. An Stellen, an denen sich im Flachwasserbereich gegenläufige Wellen treffen, bilden sich stehende Wellen aus. In solchen Fällen erfolgt der Sedimenttransport von 2 Seiten in das Zentrum der Welle, so daß sich an den fraglichen Stellen eine Sandbank oder auch Sandinsel bilden kann. Auf diese Weise läßt sich die Bildung von „Rose Cay“ und die Entstehung der Tombolo-artigen Verbindung zwischen „Licie Point“ und „Rocky Cay“ erklären. Auch das Sandeiland „Johnny Cay“ im N der Insel wurde offensichtlich bei Stürmen an einer Stelle der Lagunen-Terrasse aufgeworfen, an der Wellen aus verschiedenen Richtungen zusammenlaufen.

Im Gegensatz zu den Sedimenten des Sturmstrandes und der Lagune zeigt der Strandsand entlang der Küstenlinie eine relativ gute Kornsortierung. An Stränden mit geringerer Wellenbewegung, wie etwa demjenigen zwischen „Coco Plum Bay“ und „San Luis“, überwiegt sehr feines Material mit unterschiedlichen Gemengteilen meist unzerbrochener *Halimeda*-Plättchen. Stark wellenexponierte Strände, wie derjenige von „Sound Bay“ oder von „Johnny Cay“, bestehen vorwiegend aus Grobsand mit besonders gut gerundeten Körnern, welche aus Fragmenten von inkrustierenden Kalkalgen, Korallen, Molluskenschalen und auch *Halimeda*-Plättchen bestehen. Auffallendste Komponente des sonst weißen Strandsedimentes sind Bruchstücke der leuchtend roten Foraminifere *Homotrema rubrum*. Die Strandablagerungen an der Nordküste der Insel nehmen in bezug auf die Wellenexposition, Sedimentaufarbeitung und Korngröße eine vermittelnde Stellung ein (Taf. 2, Fig. c).

Der schon erwähnte Sturmstrand hat sich nur an Küstenabschnitten abgelagert, wo die Sturmwellen durch Riffe ungehindert an der Küste auftreffen. Dies kann man an der besonders ungeschützten Westküste der Insel, aber auch bei „Rocky Point“, beobachten. Das Material bildet in der Regel einen breiten Streifen, der sich meist mehr als 100 m inseeinwärts küstenparallel in mehreren Metern über dem Meeresspiegel hinzieht (Abb. 14). Das Material besteht aus Sand mit einem sehr hohen Anteil an großen Korallentrümmern sowie auch größeren Kalkblöcken, welche bei Hurrikanen von der Kliffkante abgerissen wurden. Die Korallentrümmer sind zum Teil gerundet. Eine Sortierung ist nicht erkennbar.

Die holozänen Strandablagerungen erreichen auf San Andrés mehrere Meter Mächtigkeit und können sich an der Ostküste bis knapp 500 m landeinwärts erstrecken. Stellenweise schnüren sie flache Meeresbuchten ab, welche bei der holozänen Überflutung des Insularschelfes auf Grund der vorgegebenen Topographie entstanden sind, so daß sich hinter dem Strand teilweise von Wasser, Faulschlamm und Sand angefüllte, sumpfige Depressionen bilden konnten, in denen heute weitgehend Mangroven wachsen. Alle hier angeführten Strandsedimente holozänen Alters sind auf der beigegebenen geologischen Karte als Bay-Formation ausgeschieden worden, benannt nach der Lokalität „Bay“ im N von „San Luis“ (Abb. 3).

3.1.6. Sedimentumlagerung

Biologische Sedimentumlagerung (Bioturbation)

Nach ihrer Ablagerung und vor der Verfestigung können Lockersedimente innerhalb eines Riffkomplexes auf vielfältige Weise umgelagert werden. Diese Umlagerungsvorgänge bilden wahrscheinlich die wichtigste Ursache dafür, daß fossile La-

gunensedimente im Normalfall keine erkennbare Schichtung oder Bankung aufweisen.

Die Umlagerung im Lagunenbereich geschieht in erster Linie durch grabende Organismen. Die auffallendste Bioturbation um San Andrés wird wohl durch die Garnele (?) *Callianassa* verursacht, deren Tätigkeit eine von großen, maulwurfs-haufenartigen Hügeln übersäte Unterwasserlandschaft im Bereich der feinen Sedimente im Lagunenbecken zur Folge hat (Taf. 8, Fig. c). Eine noch viel stärkere Durchbewegung des Sedimentes läßt sich im Bereich der Mangrovensümpfe vor der Küste feststellen. Zahlreiche Krabben, darunter die Winkerkrabbe *Uca*, haben hier ihre Wohnbauten gegraben und dabei den Schlickboden vor allem im Gezeitenbereich intensiv umgelagert. Eine detaillierte Beschreibung derartiger Grabbauten gibt SHINN (1968). Eine eingehende Schilderung von Intensität und Auswirkung der Bioturbation innerhalb eines westindischen Rifffkomplexes findet sich bei CLIFTON & HUNTER (1973).

Mechanische Sedimentumlagerung

Sedimentumlagerung durch Sturmwellen an der Westküste

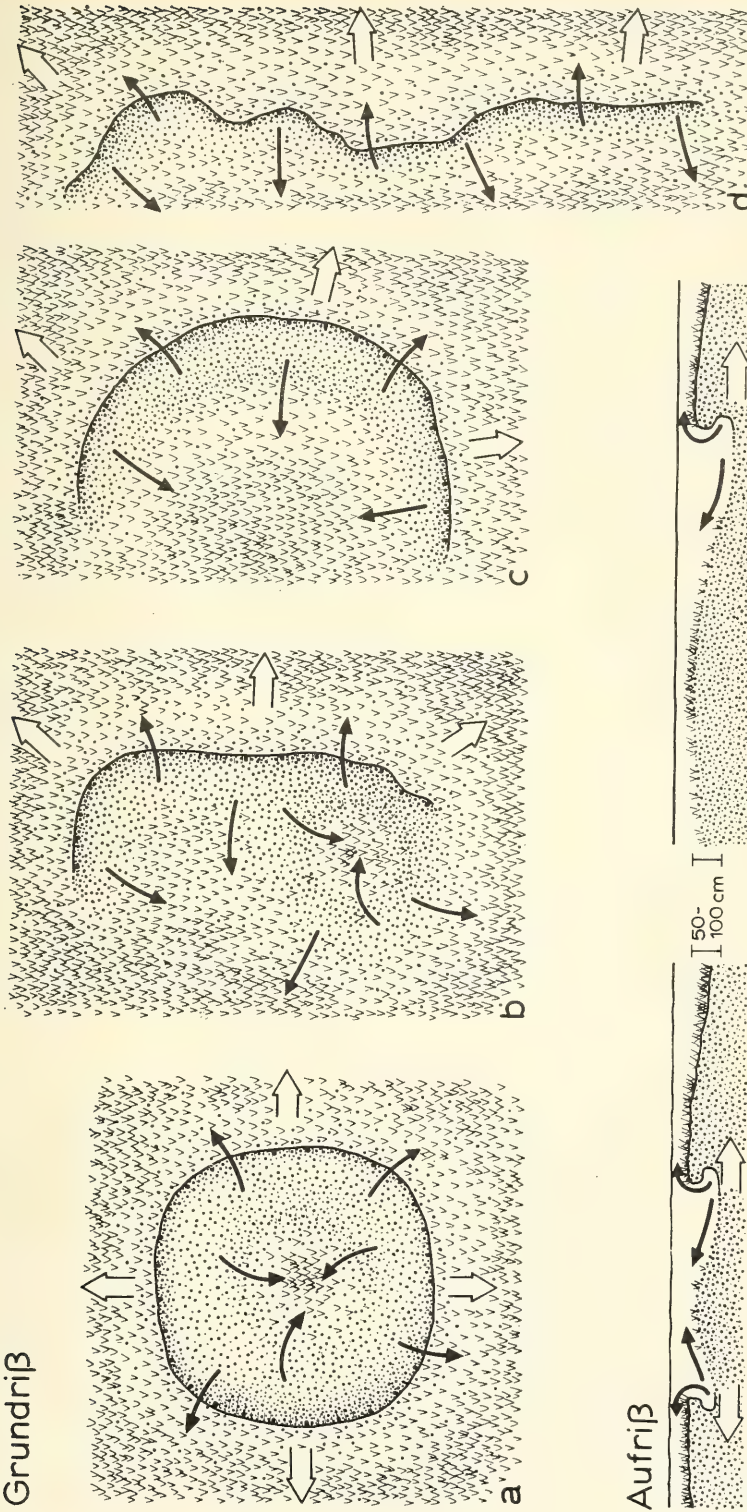
An der ungeschützten Westküste der Insel tritt bei Sturm aus nördlicher oder westlicher Richtung eine ungewöhnlich starke Brandung auf, bei der sandiges Sediment vom Innenrand der 20 m-Terrasse in 8–10 m Wassertiefe aufgewirbelt wird. Die dabei auftretende Sedimentumlagerung kann wohl als Hauptursache dafür angesehen werden, daß am sandigen Innenrand der 20 m-Terrasse weder Algenrasen noch Seegras auftreten. Das aufgewirbelte Sediment ist offensichtlich stark an der Abrasion der 4 m-Terrasse beteiligt.

Sedimentumlagerungen im Bereich des Seegrasrasens

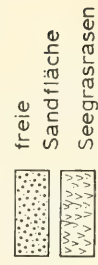
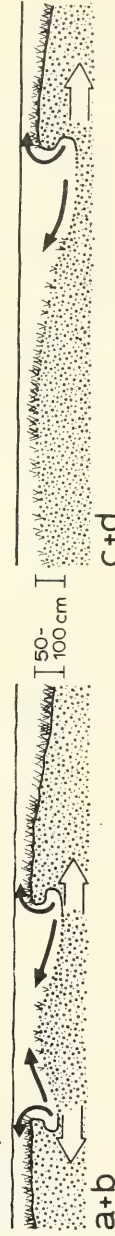
Das Wurzelwerk des Seegrasrasens bildet in der Regel eine zusammenhängende und dicht verfilzte Decke, welche die Sandoberfläche im flachen Lagunenbereich zusammenhält, so daß hier kein Sandtransport durch Wellen stattfinden kann. An Stellen, welche weniger dicht von Gras besiedelt werden, oder dort, wo der Rasen in wellenexponierten Lagen in zu flaches Wasser reicht, kann die Seegrasdecke jedoch bei Sturm durch starke Brandung aufgerissen werden. Fehlt die Seegrasdecke erst einmal an einer Stelle, dann wird der darunter liegende Sand ebenfalls durch die Brandung 0,5–1 m tief ausgespült, so daß wannenartige Vertiefungen entstehen, über deren Rand die Rasendecke etwas überhängt (Abb. 15).

Durch die Brandung wird der lose Sand vom Wannenboden aufgewirbelt und von den Wellen zum größten Teil über die umliegenden Grasflächen verstreut, wo er von den Grashalmen als Sedimentfalle eingefangen und festgehalten wird. Beim Fortschreiten dieses Prozesses werden die senkrechten Abbruchkanten unterspült, und die überhängende Rasendecke bricht von Zeit zu Zeit ab. Dadurch wandern die Wände nach außen, und die Wannen erweitern sich so mehr und mehr. In der Umgebung der Wannen wird der Meeresboden durch Sedimentakkumulation auffallend erhöht. Erreicht die Sandwanne eine gewisse Breite, dann kann sich in den ruhigeren Innenbereichen meist wieder eine neue Rasendecke auf entsprechend tieferem Niveau bilden. Dieser Rasen fängt nun selbst einen Teil des bei Sturm rundherum in der Mulde aufgewirbelten Sandes auf und hält ihn fest, so daß der Meeresboden in diesem Bereich wieder langsam in die Höhe wächst und sich auf diese Weise eine ringförmige Sandwanne bildet (Abb. 15a u. b). Vielfach ist nun zu beobachten, daß die landseitige und deshalb geschütztere Hälfte der Ringwanne ebenfalls von Rasen besiedelt wird, was auf eine bevorzugte Transportrichtung des Sandes zur Küste schließen ließe. Auf

Grundriß



Aufriß



Richtung des Sedimenttransports
 Versetzungsrichtung der Wanne
 Abrißkante

ca 5m

Abb. 15. Sandwannebildung im Bereich des Seegrassrasens.
 Formation of sandy pits in the sea-grass belt.

diese Weise entstehen mondsichelförmige Wannen oder auch nur einfache, langgestreckte oder gebogene Rinnen (Abb. 15 c—d), die im Zuge der weiteren Erosion nur in Richtung ihrer steilen Außenkanten wandern. Offensichtlich findet die Wanderung dieser Rinnen erst dann ein Ende, wenn sie den Wirkungsbereich der Sturmwellen verlassen haben. Dann kann ihr Boden schließlich wieder von Gras oder Algen überwachsen werden.

Wenn ein bevorzugter Wellentransport des aufgewirbelten Sandes zur Insel hin erfolgt, ist die Abrißkante auf der Inselseite nicht ausgebildet. Bei solchen Sandwannen ist die geöffnete Seite der vorherrschenden Ausbreitungsrichtung der Wellen abgewandt. Hier wandert das Sediment während der Umlagerung entsprechend der Fortpflanzungsrichtung der Wellen mit stärkerer Komponente in Richtung zur Küste, die Sandwanne als Erosionsform dagegen in die entgegengesetzte Richtung. Erfolgt der Sedimenttransport nach mehreren Richtungen, dann entstehen kreisförmige Sandwannen, welche sich im Laufe der Zeit vergrößern.

Treten nun mehrere solcher Sandwannen dicht nebeneinander auf, dann können sie sich durch vollständige Erosion der dazwischenliegenden Rasenrelikte vereinigen, wobei eine fast seegrasfreie Sandfläche mit meist unruhiger Morphologie entsteht. Solche Sandflächen liegen in Gebieten, welche der Dünung besonders stark bei Sturm ausgesetzt sind oder auch in flachen Lagunenbereichen unmittelbar im Anschluß an das Außenriff. Dagegen treten in den gegen Sturmwellen geschützten Bereichen des Seegrasrasens keine Sandwannen auf.

Gleichartige Sandwannen wurden auch aus anderen Riffgebieten bekannt, in denen Seegrasrasen vorkommen. So werden sie beispielsweise von ZENKOVIČ (1969b, 265) aus Kuba beschrieben und abgebildet. Ihre Verbreitung im Seegrasgebiet läßt sich auf Luftbildern ausgezeichnet erkennen, da die unbewachsenen Sandflächen hier hell, die Rasenflächen aber dunkel erscheinen. Dort, wo zeitweise stärkere Wellenturbulenz herrscht, treten sie vielfach in größeren Gruppen auf, wobei sichelförmige Wannen dann schuppenartig angeordnet erscheinen. Dabei liegt der gebogene Außenrand der „Schuppen“ den einlaufenden Sturmwellen zugewandt.

Die Bildung und Wanderung der Sandwannen hat auf lange Sicht eine Umlagerung des gesamten Sediments zur Folge, da durch die Ortsveränderung der Wannen alles abgesetzte Material zu gegebener Zeit wieder mobilisiert und danach sedimentiert wird.

3.1.7. Verfestigung

Innerhalb eines Korallenriffes werden sämtliche abgestorbenen Korallenkolonien von einem mehr oder weniger dicken Melobesien-Film überzogen. Benachbarte Kolonien können von diesem gemeinsam überkrustet und auf diese Weise fest miteinander verbunden werden. Vielfach erhält das Riff erst dadurch Eigenschaften eines starren, zusammenhängenden Gerüsts. Auch Korallenbruchstücke, welche sich im Riff oder auf hartem Substrat vor dem Riff abgelagert haben, können auf ganz ähnliche Weise mit dem Untergrund verbunden werden. Derartig zementierte Trümmer können nicht unbeträchtlich am Aufbau eines Riffes beteiligt sein. Außerdem wurde nicht selten im Flachwasser beobachtet, daß Korallentrümmer am Innensaum der Riffe durch stromatolith-ähnliche Algenbildungen überkrustet und dadurch zementiert wurden.

Außer der organogenen Verfestigung der Riffstruktur durch inkrustierende Organismen sind auch anorganische Zemente bei der Diagenese innerhalb des Riffes

von Bedeutung. Sie können direkt oder indirekt auf der Tätigkeit von Organismen beruhen. Derartige Zemente aus Aragonit bzw. Kalzit wurden u. a. aus den Riffen der Bermuda-Inseln durch SCHROEDER (1972) und aus Jamaika durch LAND & GOREAU (1970) beschrieben. Dort werden auch die Faktoren ihrer Bildung diskutiert.

Streckenweise verfestigte sich das lockere Strandmaterial zu einem gebankten, harten Strandsandstein oder Strandskonglomerat. Die Bänke sind entsprechend dem Strandgefälle um wenige Grad zum Meer hin geneigt. Sie können mehr als $\frac{1}{2}$ m unter den Mittelniedrigwasserspiegel und um mindestens $\frac{1}{2}$ m über den Mittelhochwasserspiegel reichen. Strandsandstein ist auf San Andrés fast an der gesamten Ostküste im S von „San Luis“ ausgebildet. Außerdem wurde er auf „Johnny Cay“, „Rose Cay“, am Strand von „Sarie Bay“ und als ganz kleines Vorkommen auch am Strand von „North End“ angetroffen. Auffallenderweise wurde er auf San Andrés nur an Strandabschnitten beobachtet, die fast ununterbrochen mehr oder weniger stark von Wellen gespült werden. Er fehlt dagegen an dem 2 km langen, fast wellenfreien Strandabschnitt zwischen „Haine Bight“ und „San Luis“ an der Ostküste und am Strand der Nordküste bei „North End“ mit Ausnahme des erwähnten kleinen Vorkommens (Abb. 6).

Inwieweit bei der Verfestigung von Strandsandstein chemisch-physikalische oder biologische Vorgänge die maßgebende Rolle spielen, ist bis heute noch nicht hinreichend geklärt. Bei dem Strandsandstein im S von „Sound Bay“ handelt es sich offenbar um eine relativ junge Bildung, welche nach Angaben von Anwohnern erst Ende der 30er oder Anfang der 40er Jahre aufgetreten sein soll. Verfestigtes, feinkörniges Lagunenmaterial holozänen Alters wurde bei den Untersuchungen um San Andrés nicht festgestellt.

3.2. Die Einflüsse der Umweltfaktoren auf die Verteilung der Organismen im Riffkomplex

3.2.1. Lebensräume und geologische Funktion der Rifforganismen

Ein Riffkomplex bietet den in ihm lebenden Organismen drei grundsätzlich verschieden geartete Lebensräume: hartes Substrat (Felsboden und Riff), Lockersediment (Lagunenablagerungen) und das offene Wasser. Die in diesen Räumen lebenden Tiere und Pflanzen zeigen jeweils ganz bestimmte ökologische Anpassungen, die ihnen einen erfolgreichen Wettbewerb unter den hier vorherrschenden Bedingungen ermöglichen. Die Fortbewegung kann an der Oberfläche des Substrates erfolgen, oder aber der Organismus kann in den Raum seines Milieus aktiv eindringen. Die so definierten ökologischen Organismengruppen, ihre systematische Stellung sowie ihre geologische Funktion sind in Tabelle 1 schematisch dargestellt.

Die Hartboden- und Riffbewohner lassen sich in drei Gruppen von Organismen unterschiedlicher Lebensweise zusammenfassen: vagile, sessile und bohrende Organismen. Zu den vagilen Vertretern zählen in erster Linie Echinodermen und Gastropoden. Sessile Besiedler von Hartboden und Riff sind neben Scleractiniern und Milleporen vor allem Oktokorallen, Algen, sessile Foraminiferen, Serpuliden und bestimmte Mollusken (Vermetiden, Austern, *Spondylus*), wie auch Zoanthiden (*Palythoa* u. a.). Zu den Bohrorganismen, welche in das feste Kalkgestein und in die Korallenskelette einzudringen vermögen, gehören bestimmte Algen, Schwämme (z. B. *Cliona*), Muscheln (*Lithophaga* u. a.) und Seeigel (z. B. *Echinometra*).

Die Bewohner von Lockersedimenten bilden auf Grund ihrer Lebensweise ebenfalls drei ökologische Gruppen: vagile, sessile und grabende Organismen. Zu den vagilen Benthonten, welche das Lockersediment besiedeln, gehören die meisten Echinodermen (Asteroidea, Ophiuroidea, Holothuria, reguläre Seeigel), viele Mollusken (die meisten Gastropoden) sowie Foraminiferen. An das Lockersediment angepaßte sessile Organismen sind fast ausschließlich Pflanzen: Algen (Braun-, Rot- und Grünalgen), Seegras (*Thalassia*, *Cymodocea*) und Mangroven (vor allem *Rhizophora mangle*). Irreguläre Seeigel (*Clypeaster*, *Meoma*), zahlreiche Mollusken (Gastropoda, Lamellibranchiata, Scaphopoda) und Crustaceen (u. a. *Callinassa*, verschiedene Krabben) gehören zur wichtigsten grabenden Fauna in den Lockersedimenten des Lagunenbodens.

Bewohner des Wassers sind die planktonischen und nektonischen Organismen. Das Makroplankton wird vor allem von gewissen Algen (z. B. *Sargassus* sp.) und von Medusen (z. B. der Portugiesischen Galeere, *Physalia physalis*) gebildet, welche von der offenen See in das Riffgebiet hineinrutschen. Zu den wichtigsten nektonischen Riff- und Lagunenorganismen zählen die Fische. Eine vermittelnde Stellung zwischen vagilem Benthos und Nektonen nehmen die Oktopoden ein. Sie werden zum bodenbezogenen Nekton gerechnet.

3.2.2. Einflüsse der Sedimentations- und Erosionsvorgänge

Sedimentakkumulation

Auf Grund der Tatsache, daß in rezenten Riffkomplexen die Gebiete des Riffwachstums und der Sedimentakkumulation stets mehr oder weniger scharf gegeneinander abgegrenzte Areale einnehmen, bilden sich — wie bereits angeführt — die Lebensräume „Felsboden und Riff“ sowie „Lockersediment“ heraus. Bei den sessilen Organismen des Lebensraumes Lockersediment überwiegen in quantitativer Hinsicht meist die Pflanzen (Algen- und Seegrasrasen, Mangrovendickichte). Das scheint in erster Linie daran zu liegen, daß diese durch ständige oder periodische Sedimentation nicht behindert werden, weil sie mit dem ansteigenden Sedimentspiegel in die Höhe wachsen können. Außerdem sind sie durch Haftfäden und Wurzeln vorzüglich im Sediment verankert.

Korallen dagegen finden auf Lockersediment in der Regel keine geeignete Besiedlungsfläche und sind meist auch nur mangelhaft gegen die schädlichen Einwirkungen der Sedimentation geschützt. Die Schädigung der Korallen durch Sedimentation scheint auf dem Ersticken der Polypen zu beruhen. Dennoch zeigen einige wenige Korallen eine gute Anpassung an das Leben auf Lockersubstrat und an Bedingungen periodischer oder permanenter Sedimentakkumulation, welche vor allem juvenile Kolonien zu verschütten droht. Korallen, welche in diesem für sie unwirtlichen bis feindlichen Milieu leben und sich durchsetzen wollen, müssen dazu besondere Anpassungen zeigen. So überwiegen bei der artenarmen, auf Lockersubstrat siedelnden Korallenfauna diejenigen Formen, welche nur in ihrer Jugend auf Hartsubstrat, meist einer Molluskenschale oder einem Korallenfragment, festgewachsen sind und sich im adulten Stadium von diesem lösen oder es vollständig umkrusten. Dadurch gewinnen diese Korallen eine gewisse Beweglichkeit, die es ihnen ermöglicht, sich vor dem Einsedimentieren zu bewahren. So ist beispielsweise die Koralle *Manicina areolata* in der Lage, sich durch aktive Horizontal- wie auch Vertikalbewegungen aus teilweiser oder vollständiger Einsedimentierung zu befreien

Lebensraum	Ökologische Gruppen	Systematische Gruppen	Geologische Funktion
Felsboden und Riff	vagile Organismen	Gastropoden, Echinodermen, Crustaceen	Bioerosion primäre Sedimentbildung sekundäre Sedimentbildung
	sessile Organismen	Melobesieae	Riffwuchs Zementation Oberflächenstabilisierung
		segmentierte Kalkalgen, Oktokorallen	primäre Sedimentbildung
		<i>Homotrema</i> , Serpuliden, sessile Mollusken	Hohlraumverfüllung Verfestigung
Lockersediment	Bohrorganismen	Milliporen, Scleractinier	Haupt- und Nebenriffbildner
		<i>Palythoa</i>	Oberflächenstabilisierung
		nicht kalkbindende Algen	z. T. Sedimentfallen
	vagile Organismen	Algen, Schwämme, Seeigel, Muscheln	Bioerosion sekundäre Sedimentbildung
Wasser	sessile Organismen	Echinodermen, Mollusken, Foraminiferen	primäre Sedimentbildung
	sessile Organismen	Algen	Oberflächenstabilisierung Sedimentfallen z. T. primäre Sedimentbildung
		Seegrass, Mangroven	Oberflächenstabilisierung Sedimentfallen
	grabende Organismen	Seeigel, Mollusken, Crustaceen	primäre Sedimentbildung biologische Sedimentumlagerung
Wasser	planktonische Organismen	Algen, Medusen usw.	
	nektonische Organismen	Riff-Fische	Bioerosion sekundäre Sedimentbildung biologischer Sedimenttransport
		Oktopoden	biologischer Sedimenttransport

Tab. 1. Verteilung und geologische Funktion wichtiger Organismengruppen im Riffkomplex von San Andrés.
Distribution and geological function of important organism groups in the reef complex of San Andrés Island.

(FABRICIUS 1964). Außerdem besitzen die Lagunenkorallen *Siderastrea radians*, *S. siderea* und *Manicina areolata* die Fähigkeit, sich durch Aufblähen des Gastralraumes und mit Hilfe ihrer Cilien von Sediment zu reinigen (YONGE 1935 a u. b; FABRICIUS 1964).

A b r a s i o n

Dort, wo weder eine kontinuierliche Sedimentation noch eine Riffbildung auf Hartboden zu beobachten ist, halten sich vielfach konstruktive und erosive Vorgänge die Waage. Derartige Bereiche innerhalb eines Riffkomplexes können durch Perioden ungestörten Korallenwachstums gekennzeichnet sein, welche episodisch von kurzen Phasen der Abrasion, vornehmlich bei Sturm, unterbrochen werden. Ein anschauliches Beispiel für solche Bedingungen bildet die gegen das offene Meer ungeschützte 4 m-Terrasse an der Westküste von San Andrés. Sie liegt bei vorherrschendem Passat fast das ganze Jahr über im Windschatten der Insel und ist dann nur einer ganz minimalen Wellenbewegung ausgesetzt. Wenn jedoch im Winter starke Nord- und Nordwestwinde wehen, tritt hier eine heftige Brandung auf. Dabei wird Sediment in Sandfraktion vom Innenrand der 20 m-Terrasse in 7–10 m Tiefe aufgewirbelt und damit die Terrassenoberfläche im Rhythmus der Brandung mehr oder weniger stark überschliffen. Außerdem werden zahlreiche Korallen zertrümmert, deren Bruchstücke von den Wellen ebenfalls über den Felsboden gerollt und gestoßen werden und die Abrasion auf diese Weise beträchtlich verstärken.

Bei jeder Abrasionsphase werden die empfindlichsten, d. h. in diesem Fall die zerbrechlichsten Organismen abgebrochen, und die gesamte Felsterrasse wird in unterschiedlichem Maße von wellenbewegten Korallentrümmern überschliffen. Unter diesen Bedingungen überleben nur die unempfindlichsten Formen. Dazu gehören beispielsweise viele Oktokorallen, vor allem *Plexaura* und *Gorgonia*, da diese eine zähelastische und abrasionsresistente Basis besitzen und darüber hinaus nicht zerbrechen können. Bei den Scleractiniern zählen zu den unempfindlichsten Formen vor allem inkrustierende bis hemisphärische Kolonien. Als besonders abrasionsresistent können nach den Beobachtungen um San Andrés *Diploria clivosa*, *D. strigosa*, *Dichocoenia stokesii*, *Siderastrea siderea*, *Porites astreoides* und *Isophyllastrea rigida* angesehen werden. Hier ist auch die großwüchsige und gegen Abrasion besonders widerstandsfähige Säulenkoralle *Dendrogyra cylindrus* zu nennen, welche eine breite, inkrustierende Basis bildet und sich mit ihren langen Säulen vorteilhaft über das Niveau der Abrasionsebene erhebt (GEISTER 1972a).

Die stärkste Abrasion tritt in Kliffnähe auf und nimmt zum Außenrand der Terrasse hin ständig ab. Durch den Ausleseeffekt der Abrasion beobachtet man in Kliffnähe, wenn überhaupt, dann ausschließlich inkrustierende Scleractinier, weiter außen hemisphärische und inkrustierende und gegen die Außenkante der Terrasse neben vielen hemisphärischen und inkrustierenden Formen auch vereinzelt verzweigte Formen. Die verschiedenen Bereiche gehen fließend ineinander über, so daß eine exakte Grenzziehung nicht möglich ist. Trotzdem ergibt sich eine auffallende Zonierung der Scleractinier nach der Wuchsform unter der Einwirkung einer unterschiedlich starken Abrasion. Die Oktokorallen sind im mittleren Bereich relativ am häufigsten vertreten.

Zu den verzweigten und damit besonders abrasionsempfindlichen Korallen zählen in erster Linie *Madracis mirabilis*, *Eusmilia fastigiata* und *Porites porites*, welche

keine inkrustierende und belebte Basis wie etwa *Millepora* besitzen. Brechen solche Verzweigungen bei der Abrasion ab, dann werden diese von den Wellen weggespült, und damit ist keine Regeneration der Kolonien von der Basis her möglich. *Millepora* dagegen bildet unter Abrasionsbedingungen Überkrustungen. In Ruhezeiten ohne Abrasion können von diesen Überkrustungen Verzweigungen hochwachsen. Diese werden jedoch um San Andrés meist nicht älter als ein Jahr, da sie spätestens bei der nächsten winterlichen Abrasionsphase abgebrochen und weggespült werden. Die Kolonien von *Millepora* regenerieren sich danach und können auch ihre Verzweigungen im Laufe der kommenden Monate wieder neu bilden.

Durch die Abrasion tritt nicht nur eine Auslese unter den Scleractiniern in dem Sinn ein, daß Arten mit optimalen Wuchsformen sich besonders erfolgreich durchsetzen. So können verschiedene Korallen auch ihre Wuchsform an die herrschenden Abrasionsbedingungen optimal anpassen. *Acropora palmata* bildet beispielsweise im Bereich von Abrasionsterrassen nicht selten breite Überkrustungen, von denen auch kleinere Verzweigungen ausgehen können. *Diploria clivosa*, welche sich in nicht abrasionsbeeinflussten Bereichen zu einer unregelmäßigen, fladenförmigen Kolonie mit zahlreichen, buckelartigen Erhöhungen entwickelt, pflegt im Bereich von Abrasionsplattformen ungewöhnlich großflächige und gleichmäßig glatte Kolonien auszubilden, welche jedem durch Wellen induzierten lateralen Sedimenttransport nur einen minimalen Widerstand entgegensetzt. Bei *Agaricia agaricites* kann man unter Abrasionsbedingungen nicht die verzweigte Varietät *agaricites* oder die foliose Varietät *purpurea* beobachten. Statt dessen tritt die massig-inkrustierende Form *crassa* auf.

Bioerosion

Der Einfluß von Bohrtätigkeit und anderen Formen der Bioerosion auf die Organismenverteilung kann generell nur sehr schwer abgeschätzt werden. Bei den Untersuchungen um San Andrés gewann ich den Eindruck, daß eine starke Bohrtätigkeit von zahlreichen, dichtsiedelnden Seeigeln auf einer Felsplattform den Wuchs und die Ausbreitung von inkrustierenden Korallenkolonien wesentlich stärker zu hemmen vermag als beispielsweise denjenigen verzweigter Formen. Dort, wo das Substrat intensiv von Seeigeln der Gattung *Echinometra* zerbohrt wird, kann sich beispielsweise *Diploria clivosa* nicht ungehindert ausbreiten, da die in Felsvertiefungen sitzenden Seeigel bei drohender Überkrustung die randlichen Partien der fladenförmigen Kolonien zerstören, sobald sie die Felsvertiefungen der Seeigel erreichen. Andere Seeigel bohren sich auch in einer oft vorhandenen Nische zwischen Substrat und Korallenkolonie ein und können dabei letztere in mehrere voneinander isolierte Teilstücke auftrennen oder auch ganz zerstören. Verzweigte Kolonien wie etwa *Acropora cervicornis* werden dagegen durch die erosive Tätigkeit von Seeigeln kaum behindert, da die Hauptmasse der Korallenkolonien hoch über der Ebene der Seeigel-Aktivität frei im Wasser steht und mit ihrer schmalen Basis nur auf einer ganz minimalen Fläche aufgewachsen sind, so daß den Seeigeln fast das gesamte Substrat zur Verfügung stehen kann. Außerdem bietet eine großästige Kolonie wie *Acropora cervicornis* auch nicht die nötigen Nischen, in die sich die Seeigel zurückziehen könnten, um von hier ihr Zerstörungswerk zu beginnen. Im allgemeinen werden auch große, hemisphärische Kolonien durch die Seeigel-Erosion weit weniger behindert als inkrustierende Formen, da diese ebenfalls mit der Hauptmasse ihres Skelettes oberhalb der Erosionsebene liegen.

Einflüsse von Bohrschwämmen auf die Korallenverteilung am Außenabhang der jamaikanischen Riffe schildern GOREAU & HARTMAN (1963, 42–45). Beide Autoren ermittelten als wichtigstes Ergebnis der Bohrtätigkeit des Schwammes *Cliona* in diesem Riffbereich die erosive Zerstörung des Festheftungspunktes der Korallen, so daß letztere bei steilem Relief sehr leicht von ihrer Unterlage abreißen und in die Tiefe stürzen können. Massige Korallen sind wegen ihres größeren Gewichtes und weit außen liegenden Schwerpunktes unter diesen Bedingungen wesentlich mehr gefährdet als foliose Wuchsformen. Dies mag einer der Hauptgründe dafür sein, daß besonders an den steilen Abschnitten des Außenabhanges große foliose und deshalb leichtere Kolonien von *Agaricia* dominieren, während die massigen (wie z. B. *Montastrea* ssp.) sich hier nicht lange halten konnten und in die Tiefe gerutscht sind.

Mechanische Sedimentumlagerung

Während das Lockermaterial im Bereich des Lagunenbeckens durch seine geschützte Lage offensichtlich keinerlei mechanischen Umlagerung durch Wellenbewegung unterliegt, werden — wie schon erwähnt — die Sedimente am Innenrand der 20 m-Terrasse vor der Westküste bei Sturm mehr oder weniger stark aufgewirbelt und erneut abgelagert. Eine ähnliche Mobilität der Sedimente konnte bei Sturm auch in bestimmten Bereichen der Lagunen-Terrasse, vorwiegend bei „Big Reef“, beobachtet werden.

Es kann angenommen werden, daß eine derartige periodische Umlagerung des Sedimentes einschneidende Auswirkungen auf die Besiedlung durch grabendes und vagiles Benthos haben muß. Tatsächlich fehlen an der Oberfläche beider angeführter Bereiche fast vollständig Makrobenthonten (vor allem Echinodermen und Mollusken), obwohl diese in geschützten Bereichen der Lagune von San Andrés sehr häufig auftreten können. Oft fand sich örtlich nur *Strombus costatus*. Inwieweit derartige Sedimentumlagerungen die taxonomische Zusammensetzung der eingegrabenen Formen zu beeinflussen vermögen, konnte in der vorliegenden Studie nicht näher untersucht werden.

3.2.3. Einflüsse der submarinen Topographie Wassertiefe

Mit zunehmender Wassertiefe ändert sich neben der Wuchsform verschiedener Korallenarten auch die Spezies-Zusammensetzung der gesamten Riff-Fauna und -Flora. Beide Effekte beruhen vor allem auf der Lichtabsorption durch das Wasser. Da Riffkorallen mit einzelligen Grünalgen, den sogenannten Zooxanthellen, in Symbiose leben, welche zur Assimilation Licht benötigen, ist ihre Verbreitung auf die gut durchlichteten Flachwassergebiete beschränkt.

Infolge der bei den einzelnen Riffkorallen verschiedenen unteren Toleranzgrenze für die Beleuchtungsstärke ergeben sich für die Korallenarten charakteristische maximale Verbreitungstiefen. Eine minimale Untergrenze der bathymetrischen Verbreitung bei den hermatypischen Korallen besitzt um San Andrés *Acropora palmata*, welche in seltenen Ausnahmefällen bis in 18 m Tiefe beobachtet wurde. *Dendrogyra cylindrus* wurde bis in 20 m Wassertiefe angetroffen. Alle übrigen großwüchsigen Korallen wurden dagegen auch in größeren Tiefen festgestellt. Fast alle Riffkorallen tolerieren andererseits eine relativ starke Beleuchtung und kommen deshalb bis in die Bereiche flachsten Wassers vor. Wichtige Ausnahmen bilden die Arten *Scolymia lacera*,

Agaricia undata und *A. lamarki*, deren obere Verbreitungsgrenzen um San Andrés kaum bis 20 m Wassertiefe hinaufreichen.

Die Stärke der Lichtabsorption im Wasser hängt nicht allein von der Wassertiefe, sondern auch von der Wassertrübe ab. Gerade in der Wassertrübe zeigen sich regionale Unterschiede, die in Relation zur Tiefenverbreitung der Riffkorallen stehen. So besitzen z. B. die Riffkorallen an der kolumbianischen Küste vor Santa Marta, wo das Meerwasser durch Plankton bedeutend stärker als um San Andrés getrübt ist, allgemein eine geringere Tiefenreichweite; dort kann man *Acropora palmata* nur in wenige Meter tiefem Wasser antreffen. *Scolymia lacera* reicht dagegen bis in eine Wassertiefe von 14 m herauf. In Curaçao wird *Scolymia lacera* in der Regel ab 10 m Tiefe angetroffen, an besonders trüben Lokalitäten jedoch schon in Tiefen von 1–2 m (Roos 1971, 93), was auf einen noch höheren Gehalt an Plankton bzw. mineralischer Trübe schließen ließe. Man kann daher vermuten, daß mit Abnahme der vorherrschenden Wassertransparenz eine Kontraktion der Tiefenreichweiten der Riffkorallen zum Meeresspiegel hin erfolgt.

Bei zunehmender Wassertiefe treten unter dem Einfluß sinkender Beleuchtungsstärke bei verschiedenen Korallen besondere Wuchsformen auf. Normalerweise massig ausgebildete Korallen wie *Porites astreoides*, *Montastrea annularis* oder *M. cavernosa* bilden hier abgeplattete bis scheibenförmige Kolonien (vgl. GOREAU 1963a; Roos 1967). Bei *Acropora cervicornis* wurden in Wassertiefen von mehr als 15 m äußerst feinästige Korallenstöcke beobachtet, welche im Gegensatz zu den Flachwasserformen nur wenige Verzweigungen aufweisen.

Angaben über die bathymetrische Verbreitung von Echiniden (KIER & GRANT 1965, 59) und Mollusken (ABBOTT 1958) machen wahrscheinlich, daß auch bei lagunären Formen eine ausgeprägte Abhängigkeit von der Wassertiefe vorliegt. Untersuchungen über die genaue Tiefenverbreitung und ihre Ursachen stehen allerdings noch aus.

Auch das Auftreten oder Fehlen von Seegras in der Lagune von San Andrés wird außer von der Wellenbewegung vor allem durch die Wassertiefe kontrolliert. Als begrenzender Faktor kommt die vorherrschende Beleuchtungsstärke in Frage. Um San Andrés tritt ein dichter Rasen von *Thalassia* bis in Tiefen von 7–8 m, ein solcher von *Cymodocea* bis in 8–9 m Tiefe auf. In mehr als 10 m Wassertiefe trifft man höchstens noch verstreute Exemplare dieser beiden Seegräser an.

Neigungswinkel

Innerhalb eines Riffkomplexes kann man eine auffallende Abhängigkeit der Verteilung der hermatypischen Fauna von der Neigung des Reliefs feststellen. Aus dem unterschiedlichen Vermögen der einzelnen Rifforganismen, an steilen oder senkrechten Wänden aufzusiedeln und dort zu gedeihen, ergibt sich eine Abhängigkeit der Organismenverteilung vom Neigungswinkel.

Große, kugelförmige Korallenkolonien wie beispielsweise *Montastrea annularis*, *Diploria strigosa* oder auch *Colpophyllia natans* erscheinen relativ ungeeignet für die Besiedlung steiler bis senkrechter Wände. Alle diese Formen besitzen eine sehr kleine Aufwachsfläche und bei relativ großem Gewicht einen weit von der Anwachsstelle liegenden Schwerpunkt, was bei stärkerer Wasserbewegung ein Losreißen der Kolonien erleichtert. Verzweigte Kolonien mit großen, weitausladenden Ästen (z. B. *Acropora cervicornis*), welche nur mit ihrer schmalen Basis fest verankert sind und deshalb von den Wellen infolge ihres relativ großen Strömungswiderstandes ab-

gerissen werden können, fehlen an sehr steilem bis senkrechtem Relief. Auch in diesem Fall kann die Wasserturbulenz mit der Schwerkraft zusammenwirken, wobei letztere durch Hebeleffekt noch beträchtlich wirksamer wird.

An senkrechten Riffabschnitten wachsen daher vorzugsweise feinverzweigte Kolonien, welche maschenartig ineinander greifen und sich auf diese Weise gegenseitig abstützen. Dabei bilden sie ein zusammenhängendes Gitterwerk, welches seine besondere Festigkeit dadurch erhält, daß benachbarte Kolonien vielfach miteinander verschmelzen. Einen derartigen Wuchs zeigen *Millepora alcornis* und *Agaricia agaricites* var. *agaricites*. Beide Riffbildner treten in der beschriebenen Wuchsform vor allem unter Brandungsbedingungen auf und bilden durch Gitterbau sogar balkonartige Überhänge.

An ruhigeren und meist auch schattigeren, steilen Riffwänden wachsen tellerbis schindelförmige Kolonien, welche etwa parallel zum Neigungswinkel orientiert und nur punktförmig auf dem steilen bis überhängenden Substrat aufgewachsen sind. Durch ihre Wuchsform bedingt, besitzen sie nur eine relativ geringe Masse, keinen weitabstehenden Schwerpunkt und laufen bei geringer Wasserturbulenz kaum Gefahr abzureißen. Zu dieser Gruppe gehören blattförmige bis scheibenförmige Varianten von *Agaricia agaricites*, *A. fragilis*, *Helioseris cucullata*, *Porites astreoides*, *Montastrea annularis* und auch *Montastrea cavernosa*. Die Ausbildung derartiger Wuchsformen wird von GOREAU (1963a, 163–165) mit geringeren Kalzifikationsraten der Korallen unter ungünstigen Lichtverhältnissen bei normalem Wachstum des organischen Korallengewebes erklärt.

Kleinrelief

Ein ausgeprägtes submarines Kleinrelief zeigt in der Regel einen deutlichen Einfluß auf die Korallenverteilung. So läßt sich beobachten, daß der Korallenwuchs im Bereich von scharfen Konvexformen oder kliffartigen Geländekanten stets am dichtesten, bei ausgeglichenem Relief, z. B. bei den meisten Korallenrasen, normalerweise am lockersten ist. Dies mag daher rühren, daß im Bereich der Geländekanten das Riff durch die Wellen am besten von feinem Lockermaterial befreit wird, welches sich dann in seiner unmittelbaren Nachbarschaft in den Konkavformen der submarinen Topographie ansammelt. Bei fehlendem Kleinrelief ergibt sich dagegen keine solche deutliche räumliche Trennung zwischen Bereichen des Riffwachses und der Sedimentakkumulation. Im Riffbereich zu beobachtende „Korallendrängung“ ist daher normalerweise auf Geländekanten und scharfe Konvexformen des submarinen Reliefs zurückzuführen.

Wasserverflachung

Erreicht der Meeresboden durch Riffwuchs oder Sedimentakkumulation den Bereich des Mittelniedrigwasserspiegels, dann kann er bei Springniedrigwasser trockenfallen. Die meisten Riff- und Lagunenorganismen sind nicht in der Lage, ein auch nur vorübergehendes Trockenfallen unter stärkerer Sonneneinstrahlung ohne Schaden zu ertragen. Deshalb siedelt in derart exponierten Bereichen nicht die sonst vorherrschende Flora und Fauna, sondern überwiegend ein weniger empfindlicher, d. h. an derartige Bedingungen besser angepaßter Formenkreis.

Dort, wo um San Andrés Teile des Riffes bei Springniedrigwasser trockenfallen, sind die Korallen an der Riffoberfläche weitgehend abgestorben. Neben *Porites astreoides*, einer vermutlich durch ihr schwammiges Skelett und die dadurch bedingte

Kapillarrowirkung gegenüber kurzfristigem Trockenfallen verhältnismäßig unempfindlichen Art, treten hier lediglich vereinzelte Inkrustationen von *Diploria clivosa* auf. Diese Koralle ist an extreme Umweltbedingungen unterschiedlichster Art besonders gut angepaßt. Der größere Teil der Riffoberfläche ist von den verschiedensten Algen besiedelt. Gelegentlich wird der Korallenwuchs vollständig durch einen mehr oder weniger dichten Rasen grüner oder auch brauner Algen vertreten. Vor allem aber können die Melobesiaee in flachen Riffabschnitten eine zusammenhängende Kruste bilden. Die Melobesiaee zeigen zwar ähnlich wie die Korallen eine besondere Empfindlichkeit gegen Austrocknung, jedoch siedeln sie sich nach einem Absterben sehr schnell wieder neu an. Derartige Organismengemeinschaften sind typisch für Riffplatten, welche bis mindestens in den Bereich des Springniedrigwasserspiegels hochgewachsen sind und damit ein vorläufiges Endstadium des Höhenwachstums erreicht haben. Um San Andrés sind solche Riffplatten in gewissen Abschnitten von „Big Reef“ und „Half-a-Reef“ ausgebildet. Auch die Riffplatte von „Long Shoal“ muß hierher gezählt werden.

In bestimmten Bereichen des Seegrasrasens kann man beobachten, daß der Meeresboden infolge von Sedimentakkumulation in Sandbänken bis zum Niedrigwasserspiegel hochwächst. In solchen Fällen war in den Bereichen flachsten Wassers der Rasen von *Thalassia testudinum* abgestorben und weitgehend durch Braunalgen ersetzt.

3.2.4. Einflüsse von Wellen, Brandung und Strömungen

Über den Einfluß der Brandung auf Form und Organismenverteilung von Korallenriffen hat bereits MARSHALL (1928) berichtet. STORR (1964, 40–48) diskutiert die Ursachen, welche zu der auffallenden Längszonierung der Korallenriffe führen. Nach Ansicht dieses Autors wird die ökologische Trennung der Riff-Fauna und damit die Zonenbildung in einem Korallenriff durch die unterschiedliche Stärke des Wellenschubes ausgelöst, welcher auf die Rifforganismen einwirkt.

Die Stärke des Wellenschubes hängt in erster Linie von der Amplitude, Länge und Ausbreitungsrichtung von Dünung und Wellen, und damit vor allem von der Wellenenergie, ab. Da sie außerdem mit zunehmender Wassertiefe abnimmt, spielt das submarine Relief bei der Organismenverteilung im wellenexponierten Riff ebenfalls eine wesentliche Rolle.

Die Intensität von Brandung und Wellenbewegung, welche in einem Riff auftritt, wird in erster Linie von der Stärke der außerhalb des Riffes einlaufenden Wellen bestimmt. Infolge des submarinen Reliefs, das die Wellen vor Erreichen der einzelnen Riffabschnitte passieren, unterliegen sie mannigfachen Veränderungen durch Refraktion, Interferenz, Diffraktion, Bodenreibung und Brandung, welche die Wellenenergie bis auf Null abzuschwächen, jedoch auch über die Ausgangswerte hinaus erheblich zu verstärken vermögen.

Ob sich die Wellen an einem Riff brechen oder nicht, hängt vor allem von der Wassertiefe über dem Riffkamm und von der Amplitude der auflaufenden Wellen ab, denn Wellen geringer Amplitude brechen sich nur in sehr flachem, solche größerer Amplitude auch noch in etwas tieferem Wasser. Bei allmählicher Verflachung des Wassers vor dem Riff bäumen sich die Wellen unter Verkürzung der Wellenlänge auf und brechen sich dann, wenn das Verhältnis ihrer Amplitude zur Wassertiefe den Wert 0,6 bis 0,78 erreicht (INMAN in SHEPARD 1963, 65). Beim Umkippen wird die Energie der Welle im wesentlichen in Form von turbulenten Strömungen frei.

Die stärkste Wasserbewegung durch die Brandung tritt bei flachliegenden Korallenriffen in der Regel im vorderen bis mittleren Bereich des Riffkammes auf. Außerdem entsteht eine starke Pendelströmung des Wassers beim Durchgang der Wellen schon vor der Brandungszone und in vielen Fällen eine kräftige und turbulente Abflußströmung nach dem Branden hinter dem Riff.

Wellenintensität und Wellenexposition

Die bei der Brandung freiwerdende Wellenenergie hängt in erster Linie von Amplitude und Periode der Welle ab. Diejenige Wellenenergie, welche beim Durchgang der Wellen in einem bestimmten Riffabschnitt je Zeit- und Flächeneinheit freigesetzt wird, soll im folgenden als Wellen- oder Brandungsintensität bezeichnet werden. Ein gedachter Mittelwert dieser Brandungsintensität, über einen längeren Zeitraum hin betrachtet, wird hier entsprechend mittlere Wellen- oder Brandungsintensität genannt. Riffabschnitte, welche derselben mittleren Wellen- oder Brandungsintensität ausgesetzt sind, besitzen die gleiche Wellen- oder Brandungsexposition. Diese entspricht folglich einem bestimmten Energieniveau.

Die in einem bestimmten Riffabschnitt zu einem bestimmten Zeitpunkt auftretende Wellen- oder Brandungsintensität wird von folgenden Faktoren bestimmt:

1. Größe von Amplitude und Periode der von der offenen See einlaufenden Dünung (= Stärke der Dünung).
2. Ausbreitungsrichtung der Dünung im tiefen Wasser vor dem Riff.
3. Größe von Amplitude und Periode der vor dem Riff erzeugten Windwellen.
4. Ausbreitungsrichtung der vor dem Riff erzeugten Windwellen.
5. Submarine Topographie des Flachwasserbereiches, den beide genannten Wellenarten durchlaufen, ehe sie auf den in Frage kommenden Riffabschnitt auftreffen.
6. Wassertiefe im Bereich des Riffkammes, über dem sich die Wellen brechen.

Wenn man einen bestimmten Riffabschnitt über einen längeren Zeitraum hin beobachtet, kann man die oben genannten Variablen in erster Näherung als konstant ansehen. Dies gilt besonders für die Ausbreitungsrichtung von Windwellen und Dünung, die im westlichen Karibischen Meer fast das ganze Jahr über aus östlicher bis nord-östlicher Richtung wirken. Damit ist die Ausbreitungsrichtung der Wellen festgelegt, welche auf einen bestimmten Riffabschnitt auftreffen, und man kann deshalb den Einfluß der submarinen Topographie auf die Brandungsintensität in einem bestimmten Riffabschnitt gleichfalls als konstant ansehen. Die Wassertiefe in der Brandungszone ändert sich geringfügig mit Ebbe und Flut. Deshalb sind mit dem Gang der Gezeiten gewisse Schwankungen der Brandungsintensität wie auch Verschiebungen der Brandungszone zu erwarten. Diese spielen jedoch im westlichen Karibischen Meer wegen ihrer verhältnismäßig kurzen Perioden bei geringer Amplitude nur eine untergeordnete Rolle. Damit ist die Brandungsexposition eines bestimmten Riffabschnittes im wesentlichen von der mittleren Stärke von Windwellen und Dünung abhängig, da letztere bei einer vorherrschenden Ausbreitungsrichtung stets über derselben submarinen Topographie die gleichen Veränderungen durch Brechung, Reflexion usw. erfahren.

Betrachtet man aber verschiedene Riffabschnitte zu einem bestimmten Zeitpunkt, dann stellt man fest, daß die beobachteten Brandungsintensitäten in den einzelnen Riffabschnitten sehr stark voneinander abweichen. Dies beruht sowohl auf der unterschiedlichen Wassertiefe im Bereich des Riffkammes als auch auf der unterschiedlichen

submarinen Topographie, über welche die Wellen laufen müssen, bevor sie sich in den jeweiligen Abschnitten brechen. Die submarine Topographie vor dem Riff beeinflußt die Brandungsintensität, indem sie durch Reibung, Refraktion, Diffraktion und Interferenz die Amplitude und damit die Energie der Wellen verändert. Da der Flachwasserbereich, den die Wellen vor den einzelnen Riffen durchlaufen, eine sehr uneinheitliche Topographie aufweisen kann, ergeben sich zwangsläufig sehr unterschiedliche Veränderungen der Wellenhöhe. So scheinen die submarine Topographie vor dem Riff und die Wassertiefe in der Brandungszone die beiden entscheidenden Faktoren zu sein, welche trotz gleichmäßigem Wellengang auf der offenen See zu den auffallenden Unterschieden in der Brandungsintensität einzelner Riffabschnitte führen. Diese Beobachtungen ermöglichen den Schluß, daß die Kämme der einzelnen Riffabschnitte einer unterschiedlichen mittleren Brandungsintensität ausgesetzt sind, und daß damit jeder einzelne Riffabschnitt einer ganz bestimmten Wellenexposition zugeordnet werden kann.

Ermittlung der Wellenexposition der Riffe

Um den Einfluß der Wellen bzw. Brandung auf die Organismenverteilung im Riff untersuchen zu können, ist zunächst notwendig, innerhalb eines Riffkomplexes die Riffabschnitte gleicher Wellenexposition des Kammbereichs zu ermitteln. Als nächster Schritt sind diese Abschnitte in eine Reihe zunehmender oder abnehmender Wellenexposition zu ordnen und danach im Hinblick auf prinzipielle Unterschiede zu untersuchen. Erst dann sind Schlüsse auf die Wirkung der Wellen möglich.

Zu diesem Zweck wurde das gesamte Gebiet des Insularschelfes von San Andrés zunächst bei Windstille und nur äußerst schwacher Dünung beobachtet. Unter diesen Bedingungen brechen sich die Wellen nur an 2 Stellen des Wallriffes, den „Blowing Rocks“. Bei nur wenig stärkerer Dünung steigert sich die Brandung merklich bei den „Blowing Rocks“, aber außerdem treten erste leichte Brecher im Bereich von „Big Reef“, „East Reef“ und „Half-a-Reef“ auf. Tritt eine noch stärkere Dünung auf, dann kann man erste Brecher im Bereich von „Little Reef“ und verschiedenen flachliegenden Fleckenriffen beobachten. Unter diesen Bedingungen laufen auch schon erste kurzwellige und niedere Wellen auf die Saumriffe von „Cotton Cay“ und an „Long Shoal“ auf.

Die Wellenintensität in sämtlichen Riffabschnitten wächst mit jeder Verstärkung der Dünung fühlbar an. Man kann daraus schließen, daß sie an denjenigen Stellen ihre höchsten Werte erreicht, an denen bereits bei minimaler Dünung eine Brandung auftritt. In der Reihenfolge des Einsetzens der Brandung in den einzelnen Riffabschnitten nimmt ihre Brandungsexposition ab. Die geringste Brandungsexposition besitzen naturgemäß diejenigen Riffe, an denen sich auch bei schwerer Dünung infolge ihrer geschützten Lage oder verhältnismäßig großen Tiefenlage keine Wellen brechen.

Einfluß der Wellenexposition auf die Organismenverteilung

Riffe verschiedener Wellenexposition unterscheiden sich vor allem durch die Faunenzusammensetzung im Bereich des Riffkammes. Es bilden sich hier in der Regel Organismen-Vergesellschaftungen aus, in denen eine oder zwei Arten dominieren. In der Reihenfolge abnehmender Brandungsexposition herrschen im Bereich der Brandungszone folgende Organismen vor:

1. Melobesieae 2. *Palythoa* sp. und *Millepora* ssp. 3. *Diploria strigosa* und *Acropora palmata* 4. *Acropora cervicornis* 5. *Porites porites* 6. *Montastrea annularis*. Neben den zonenbildenden Organismen finden sich untergeordnet zonenbegleitende Korallen.

Im ruhigen Wasser tritt dagegen eine artlich gut gemischte Fauna von Scleractiniern auf, innerhalb welcher *Montastrea annularis* in der Regel eine dominierende Rolle zukommt. Bei wachsender Wellenexposition beginnt sich auf dem Rifffamm im Bereich der stärksten Wasserbewegung eine mono- bis bispezifische Brandungszone auszubilden. In etwas geschützteren Lagen vor und hinter dem Rifffamm schließen sich an die Brandungszone in der Regel weitere Wellenzonen entsprechend der Reihenfolge abnehmender Wellenexposition an.

Auch auf dem Lagunenboden kann man eine Verteilung von Organismen nach der vorherrschenden Wellenexposition feststellen: In den ruhigsten Bereichen der flachen Lagune siedelt die Rote Mangrove *Rhizophora mangle*, in den schwach bis mittelmäßig wellenbewegten Abschnitten die Seegräser *Thalassia* und *Cymodocea*. Nur in den durch Sedimentumlagerungs-Vorgänge infolge zu starker Wellenbewegung geprägten Lagunenabschnitten tritt keine vergleichbare Organismenbesiedlung auf.

Ursachen der Wellenzonierung

Die Erfordernisse, welche die einzelnen Korallen an die Umwelt stellen, können recht verschieden sein. So benötigen die einzelnen Arten für ihr optimales Gedeihen in unterschiedlichem Maße Sauerstoff und eine gewisse Turbulenz, die sie vor dem Absetzen feinen Sedimentes bewahrt. Andererseits darf die Turbulenz auch nicht zu stark werden, da gewisse Korallen wie z. B. *Porites porites* oder *Acropora cervicornis* nur sehr schwach verankert sind, so daß sie vor allem von großen Wellen leicht losgerissen und durch Abrollen zerstört werden können. *Porites porites* ist im Gegensatz zu *Millepora* nur an den Enden der Verzweigungen von lebendem Gewebe überzogen. Wird eine solche Kolonie abgebrochen, dann kann sie nicht mehr wie *Millepora* von der Basis her regeneriert werden, und das abgebrochene lebende Ende wird bei bewegtem Wasser durch Abrollen zerstört.

Auch große hemisphärische Korallen sind allein durch ihre Wuchsform nicht ideal an Brandungsbedingungen angepaßt, da ihr Schwerpunkt verhältnismäßig hoch liegt und sie deshalb relativ leicht vom Substrat abgerissen und durch Abrollen ebenfalls zerstört werden. Eine Wuchsform, die sich optimal an die Bedingungen besonders starker Brandung anpaßt, zeigen inkrustierende, fladenförmige bis schildförmige Korallenkolonien. Hierher gehören u. a. *Porites astreoides* und *Diploria clivosa*. Verschiedene Korallen wie z. B. *Acropora palmata* können noch in Bereichen wesentlich stärkerer Brandungsintensität existieren als ihrer Wellenzone entspricht, indem sie eine krustenförmige Wuchsform annehmen.

Ebenfalls an besonders starke Brandungsbedingungen angepaßt sind verzweigte Kolonien mit inkrustierender Basis, deren einzelne Äste sich an vielen Punkten berühren und dann dort verschmelzen. Auf diese Weise kann sich ein sehr robustes Gitterwerk aus Korallenästen bilden. Dies läßt sich besonders bei den dickästigen Kolonien von *Acropora palmata* und den dünnästigen von *Millepora* beobachten. Schon seltener trifft man auf Kolonien von *Acropora cervicornis*, bei denen die Verzweigungen ganz ähnlich wie bei *Acropora prolifera* an den Berührungspunkten verschmelzen und deshalb die Wucht der Wellen besonders gut auffangen können.

Außerdem sind diese Kolonien mit einer inkrustierenden Basis festgewachsen. *Acropora cervicornis* kann mit dieser Wuchsform in der Brandung der *strigosa-palmata*-Wellenzone gedeihen und wird gelegentlich ebenfalls in der *Palythoa-Millepora*-Wellenzone angetroffen.

So ist die **Wellenzonierung** letzten Endes eine Anpassung des Riffee an die Wellenbewegung. Sie ergibt sich aus der unterschiedlichen Wettbewerbsfähigkeit der einzelnen Korallen unter verschiedener Wellenexposition. Hinzu kommt eine gewisse Anpassung der Wuchsform mancher Korallen unter verschiedenen Brandungsbedingungen. Durch die Einwirkung dieser und auch weiterer Faktoren, die in ihrer Intensität sowohl längs als auch quer zum Riff entsprechend der Topographie starken Veränderungen unterliegen, ergeben sich in jedem Riff verschiedene Bereiche, in denen Korallen ganz bestimmter ökologischer Anpassung optimale Lebensbedingungen vorfinden und deshalb quantitativ über die restliche Fauna überwiegen. Diese Wellenzonen sind der ökologische Ausdruck für jeweils einen bestimmten Ausschnitt aus der Gesamtskala der im Riff auftretenden Wellenexpositionen.

Einflüsse von Strömungen (Temperatur, Salinität, Sauerstoffgehalt)

Ein unmittelbarer Einfluß des physikalischen Strömungsvorganges auf die Verteilung oder die Wuchsform der Organismen hat sich bei den Untersuchungen in San Andrés nicht nachweisen lassen. Dennoch hat sich ein auffallender **indirekter** Einfluß von Strömungen auf die Organismenverteilung vor allem in den flacheren Bereichen der Lagune ergeben. Dieser Einfluß besteht in zeitweiligem oder ständigem Durchströmen von überhitztem, stark brackischem oder auch an Sauerstoff verarmtem Wasser durch bestimmte Lagunenbereiche. Dadurch ergeben sich ständige oder auch periodische Veränderungen der physikalischen und chemischen Parameter des Wassers und in Abhängigkeit hiervon ein gewisser Ausleseeffekt auf die Benthos-Gemeinschaften. In solchen Bereichen macht sich daher in der Regel ein Fehlen der empfindlichsten Arten bemerkbar, während die Arten mit den größten Toleranzen hier besonders häufig auftreten können.

Auf die **starke Erhitzung** des Flachwassers im Seegrasbereich vor „Coco Plum Bay“ ist bereits hingewiesen worden. Durch eine schwache Küstenlängsströmung wird das vielfach auf beträchtlich über 30°C erhitzte Wasser nach S bis in die Bucht von „San Luis“ transportiert. Im Bereich des hier auftretenden Seegrasrasens fehlt die darin normalerweise lebende Korallenfauna mit Ausnahme der näheren Umgebung von „Rocky Cay“ so gut wie vollständig, obwohl sie bei „Long Shoal“ noch beobachtet wird. Auch die Fleckenriffe vor der Küste in mehr als 2 m Wassertiefe zeigen im küstennahen Bereich eine auffallend verarmte Fauna. Sie besteht vor allem aus *Montastrea annularis* mit einer ärmlichen Begleitfauna, unter der besonders *Siderastrea siderea* und *S. radians* auffallen.

Neben der periodischen Überhitzung des Wassers tritt nach Regengüssen eine wiederholt beobachtete, gegen S zunehmende **Verbrackung** des Wassers auf, welche wahrscheinlich in erster Linie auf ein Durchsickern des Regenwassers durch die Strandsedimente in den Flachwasserbereich der Lagune zurückgeführt werden muß. Die Verstärkung der Verbrackung gegen S wird hier als Effekt der beobachteten langsamen Südströmung vor der Küste gedeutet. Da außerdem ein Teil des Wassers vor Erreichen von „Coco Plum Bay“ durch die Mangroven-Dickichte von „Haine Bight“

mit stark H_2S -haltigem Schlamm fließt, muß hier wahrscheinlich außerdem ein Effekt der Sauerstoffverarmung in Rechnung gestellt werden. Ohne systematische Messungen werden sich die Auswirkungen der 3 hier angeführten Faktoren nicht klar voneinander trennen lassen.

Über die Toleranzen verschiedener Korallen in Bezug auf die Salinität geben die Arbeiten von VAUGHAN (1914, 224) und WELLS (1932) Aufschluß, in Bezug auf die Temperatur MAYER (1914, 19) und den Sauerstoffverbrauch MAYER (1918) sowie YONGE (1937). Auf Grund der Faunenzusammensetzung der oben erwähnten Lagunenabschnitte oder auch mancher Fleckenriffe sollte deshalb auf den jeweils dominierenden, von der Strömung verbreiteten ökologischen Faktor rückgeschlossen werden können. Es zeigt sich jedoch, daß in der Regel Korallen, die Temperaturschwankungen in weiten Grenzen tolerieren, auch gegenüber Salinitätsänderungen und Sauerstoffmangel weniger empfindlich sind. Dies gilt besonders für *Siderastrea radians*, welche an sämtliche Extreme am besten angepaßt erscheint.

3.2.5. Einflüsse von Tieren auf die Benthosverteilung

Als Folge des Zusammenlebens einer Vielzahl von Organismen unterschiedlichster systematischer Stellung auf engem Raum bei relativer Nährstoffknappheit, sonst aber häufig optimalen ökologischen Bedingungen, haben sich mannigfaltige Beziehungen zwischen den verschiedensten Organismen im Riff herausgebildet. In vielen Fällen handelt es sich bei diesen Beziehungen um einen Wettbewerb um Licht, Substrat und Nahrung. Andere Einflüsse resultieren aus den komplexen Nahrungsketten innerhalb des Riffbiotops.

Wettbewerb um Licht, Substrat und Nahrung

Überall dort, wo in einem Korallenriff bei sonst optimalen Bedingungen Nahrung, Substrat und Licht nur in begrenztem Umfang zur Verfügung stehen, kann man einen auffallenden Wettbewerb zwischen den sessilen Organismen um diese Erfordernisse beobachten. Dieser Wettbewerb führt nicht selten zum Überwachsen und Ersticken der unterliegenden Organismen.

Überkrustung bildet wahrscheinlich für viele Organismen die erfolgreichste Methode, um eine möglichst große Fläche Substrates zu besetzen und damit auch eine maximale Beleuchtung sicherzustellen. Inkrustierende Organismen zeichnen sich durch ein minimales Dicken- und verhältnismäßig starkes laterales Wachstum aus. Sie sind deshalb in der Lage, in verhältnismäßig kurzer Zeit eine größere Fläche zu überziehen, so daß diese danach von keinem anderen Organismus ohne Schwierigkeiten mehr besiedelt werden kann. Es läßt sich dabei oft beobachten, daß die inkrustierenden Organismen über bereits vorher aufgesiedelte sessile Formen hinwegwachsen und diese dabei ersticken. Auffallend sind im Riffbereich insbesondere die Überkrustungen durch rote Kalkalgen, bestimmte Korallen und Krustenschwämme.

Wichtigste Krustenbildner im Riff sind bestimmte Melobesien, welche so gut wie alle sonst unbesiedelten Flächen im Riff überziehen und damit normalerweise anderen Organismen die Aufsiedlung verwehren. Gelegentlich wurden auch Korallenkolonien beobachtet, welche teilweise oder vollständig von Melobesien überkrustet waren. Eine derartige Überkrustung von Korallen scheint allerdings erst nach dem teilweisen oder vollständigen Absterben der Polypen möglich zu sein. Andererseits können die Melobesien von bestimmten inkrustierenden Korallen ohne Schwierigkeiten vom Rand aus überwachsen werden.

Auffallendster Krustenbildner unter den westindischen Korallen ist *Diploria clivosa*. Nicht selten kann man beobachten, daß hemisphärische Korallenkolonien von *Diploria strigosa* von der Seite her vollständig überwuchert werden und dadurch ersticken. Ansätze dazu kann man gelegentlich auch bei benachbarten *clivosa*-Kolonien feststellen. In der Regel wachsen dann beide Kolonien an der Berührungsfläche im rechten Winkel zum Substrat aneinander hoch. Auf diese Weise bilden sich auffallende Abgrenzungswülste zwischen verschiedenen Kolonien derselben Art.

Stellenweise werden um San Andrés begrenzte Bereiche innerhalb des Riffes von einem rostbraunen Krustenschwamm überwuchert. Diese Erscheinung wurde besonders in größeren Hecken von *Acropora palmata* beobachtet. Durch die Überkrustungen starben zusammenhängende Abschnitte der Hecke ab, da die betroffenen Korallenkolonien vollständig von dem Schwamm überzogen und dadurch erstickt wurden. Entsprechend werden nicht selten Kolonien von *Gorgonia* sp. durch krustenförmige Milleporen überwachsen und erstickt.

Andere Korallen (besonders typisch *Agaricia*) sind in der Lage, relativ große, teller- bis schirmförmige Kolonien zu bilden, welche an einem etwas abstehenden, zentral gelegenen Fortsatz mit dem Substrat verwachsen sind. Durch ihre Form und das relativ schnelle Wachstum ihres dünnen Skelettes kann *Agaricia* andere Korallen, vor allem die langsam wachsenden, massigen Formen „überdachen“ und ihnen dadurch das lebensnotwendige Licht nehmen. Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß *Agaricia* gerade in schattigen Bereichen das vorhandene Substrat vielfach schindelförmig bedeckt und damit den Wuchs anderer Korallen stark behindert.

Verhältnismäßig wenig beeinträchtigt durch inkrustierende und schirmbildende Korallen werden verzweigte Kolonien. Sie zeichnen sich durch ein relativ schnelles Längenwachstum aus und können daher einer Überdeckung durch einen Konkurrenten in der Regel entgehen. Dies scheint besonders für *Acropora cervicornis* Gültigkeit zu haben.

Interspezifische Aggressionen bei Korallen

Der Wettbewerb um Licht und Raum unter den Korallen wird nicht alleine durch hohe laterale Überkrustungsraten bei inkrustierenden und starkes distales Wachstum bei verzweigten Kolonien entschieden, sondern auch durch Aggressionen zwischen verschiedenen Korallenarten. Beobachtungen an nebeneinander siedelnden Korallenkolonien verschiedener Arten haben ergeben, daß vielfach das lebende Gewebe einer Korallenart von einer benachbarten Kolonie durch extracoelenterische Verdauung zerstört und die Koralle dadurch getötet wird. Derartige Aggressionen sind zwischen vielen Riffkorallenarten in Jamaika beobachtet und untersucht worden. Sie zeigen übereinstimmend eine klar umreißbare hierarchische Struktur (LANG 1971, 955).

Innerhalb der Aggressionshierarchie können die höher eingestuftten Arten die untergeordneten Arten bei Kontakt auf die angeführte Weise zerstören. Die meisten Aggressoren gehören zu den Familien Mussidae, Meandrinidae und Faviidae. Ihre „Beute“ bilden vielfach Arten, welche relativ schnell kalzifizieren und foliose Wuchsform (wie *Agaricia*) oder auch ramosa Wuchsform zeigen. Die Aggression erscheint deshalb als ein Mittel, durch das kleine, massige Scleractinier der oben angeführten Familien, wie z. B. *Scolymia*, sich gegen schnellwachsende Arten schützen, welche sie andernfalls überwachsen würden (LANG 1971, 957).

Weideeffekte

Das mehr oder weniger selektive Abweiden von Seegras, Algen und wahrscheinlich auch von Korallen durch Riff-Fische und andere Organismen kann die Verteilung der sessilen Organismen innerhalb eines Rifffkomplexes stellenweise auffallend stark beeinflussen. Derartige Weideeffekte werden besonders deutlich im Bereich der Lagune, wenn diese über größere Flächen von Seegras bewachsen wird. Da sich die meisten herbivoren Riff-Fische (Scaridae, Acanthuridae) nur um wenige Meter aus dem schützenden Korallendickicht der Riffe in den keinerlei Deckung vor Raubfischen bietenden Bereich der Lagune vorwagen, werden bis zu etwa 10 m breite Streifen des Lagunenbodens in unmittelbarer Nähe der Riffe fast vollständig abgeweidet (Taf. 3, Fig. d: helle Fläche im Mittelgrund). Diese lassen sich auf Luftbildern deutlich als ringförmige Höfe um die Fleckenriffe im Bereich des Seegrasrasens ausscheiden und erlauben daher eine einfache Luftbildkartierung der Fleckenriffe (RANDALL 1965).

3.3. Die Ausbildung der submarinen Topographie seit der holozänen Überflutung des Insularschelfes

Das heutige Großrelief des Rifffkomplexes von San Andrés, bestehend aus Lagune, Wallriff und Vorriff-Terrasse, hat präholozänes Alter. Wie später noch eingehend dargelegt werden soll, wurden diese Formen schon während des Pleistozäns geschaffen. Die heute im Bereich des Insularschelfes zu beobachtenden morphogenetischen Kräfte konnten erst seit seiner Überflutung im Holozän einwirken. In der seither verflossenen, geologisch sehr kurzen Zeit haben sie nur unvollkommen die schon bestehenden morphologischen Großformen überprägen können. Im Folgenden soll auf diese Prozesse eingegangen werden, da ihr Verständnis am ehesten eine Erklärung der pleistozänen Morphogenese des heute vorliegenden Reliefs von Insel und Insularschelf ermöglicht.

3.3.1. Ausbildung des Profiles der Kalksteinküste

Tropische Kalksteinküsten zeigen ein markantes Profil, welches in der Regel eine deutliche Zonierung erkennen läßt. Nach den Beobachtungen auf San Andrés kann man das Küstenprofil normalerweise in drei deutlich gegeneinander abgrenzbare küstenparallele Bereiche gliedern: die Küstenkarren auf der Landseite, den Gezeitenbereich und die Kliffwand unterhalb des Gezeitenbereiches. Auffallende Unterschiede zwischen den einzelnen Küstenabschnitten zeigen sich vor allem im Gezeitenbereich. Dabei ist eine deutliche Abhängigkeit des Profiles von der meerseitigen Neigung der ursprünglichen Landoberfläche, der Brandungsexposition des Kliffs und von der Intensität von Bioerosion und Abrasion am Kliff festzustellen (Abb. 16 u. 17).

Abhängigkeit von Neigung und Wellenexposition am Beispiel eines steilen Kliffes

Die Küstenkarren setzen in der Regel auf der Landseite unmittelbar hinter dem Geröllwall oder Sturmstrand ein und reichen bis dicht an den Gezeitenbereich. Das Relief der Felsoberfläche in diesem ganzen Bereich läßt eine Untergliederung in eine Zone auffallend feiner Karren auf der landwärtigen und eine solche mit groben Karren auf der dem Meer zugewandten Seite erkennen. Beide Zonen gehen fließend

ineinander über und erreichen vielfach insgesamt mehr als 10 m Breite. Im Bereich der feinen Küstenkarren überwiegen Reliefunterschiede von meist nur wenigen Zentimetern. Die groben Küstenkarren zeigen auffallende Spitzen und messerscharfe Grate, zwischen denen sich seichte Tümpel von etwa Halbmertertiefe entwickelt haben. Die Spitzen und Grate, welche eine auffallende Ähnlichkeit mit dem Büßerschnee mancher Hochgebirge zeigen, erheben sich oft mehr als einen halben Meter über den Boden der Tümpel (Taf. 2, Fig. a u. b). Die Zone der groben Karren umfaßt im wesentlichen die Spritz- und Sprühwasserzone und wird deshalb normalerweise ständig befeuchtet. Zahllose kleine Algen besiedeln hier das Gestein und verleihen ihm eine glitschige Oberfläche. Die feinen Karren werden nur wenig und bei normaler Brandung zum Teil auch gar nicht merklich durch versprühtes Wasser angefeuchtet. Der hier auf den Pleistozänkalken auftretende feine, graue Überzug beruht ebenfalls auf einer Besiedlung durch winzige Algen. Diese auffallenden Lösungserscheinungen an tropischen Kalksteinkliffen — in ähnlicher Form weltweit beschrieben — werden von REVELLE & EMERY (1957) am Beispiel pazifischer Atolle mit einem komplexen Zusammenspiel zwischen physikalischen, chemischen und biologischen Faktoren gedeutet. RANSON (1955) weist auf die Bedeutung der Kalklösung durch organische Säuren hin, welche von bestimmten Algen ausgeschieden werden.

Im Gezeitenbereich ist an wellengeschützten Küstenabschnitten normalerweise eine deutliche Hohlkehle ausgebildet. Diese entsteht durch kompliziertes Zusammenspiel von Lösungsvorgängen und der Bohrtätigkeit von Organismen (NEWELL 1961, 97). Sie wird hier als *Lösungshohlkehle* bezeichnet. Die Ausbildung dieser Lösungshohlkehle steht in auffallender Abhängigkeit von der Wellenexposition. An wellengeschützten Küstenabschnitten besitzt sie das einfachste Profil. Sie umfaßt hier den gesamten Gezeitenbereich und kann die senkrechte Kliffwand mehrere Meter weit unterschneiden. Nach innen verengt sie sich in der Regel etwas, was darauf schließen läßt, daß die Kalklösung im Bereich des mittleren Meeresspiegels am stärksten vor sich geht.

In Küstenabschnitten mit starker Brandung kann man in der Regel zwei hohlkehlenartige Bildungen feststellen. Die höhere der beiden ist deutlicher ausgebildet; sie liegt im Bereich des Mittelhochwasserspiegels und reicht auch noch etwas darüber. Durch die Einwirkung des Spritzwassers wurde ihr Überhang teilweise abgelöst, so daß sie von der Außenkante des Kliffs in der Regel mehrere Meter landeinwärts versetzt liegt. Eine zweite, weniger markante, da ungleichmäßig ausgebildete und weniger weit eingeschnittene Hohlkehle findet sich darunter im Bereich des mittleren Niedrigwasserspiegels (vgl. KAYE 1959, 94). Zwischen den beiden Hohlkehlen hat sich ein balkonartiger Vorsprung mit breiter Ober- und schmaler Unterfläche herausgebildet, welcher in den folgenden Ausführungen als *Gezeitenplatte* bezeichnet werden soll. Die Gezeitenplatte wird im wesentlichen aus dem massiven Kalkstein des Küstenkliffes gebildet. Ihre Oberfläche zeigt vielfach eine dichte Algenvegetation mit auffallender Längszonierung (Abb. 17 d *). Freie Kalksteinflächen werden von Melobesien überkrustet. Die Außenkante der Gezeitenplatte bildet oft ein regelrechtes Melobesien-Pflaster und wird außerdem von Vermetiden besiedelt. Die Überkrustung durch Melobesien scheint ein wirkungsvoller Schutz gegen Kalklösung und Abrasion zu sein. Dort, wo die Gezeitenplatte

*) Für die Bestimmung der in Abb. 17 d angeführten Algen sei Herrn und Frau Dr. SCHNETTER (Gießen, damals Bogotá) herzlich gedankt.

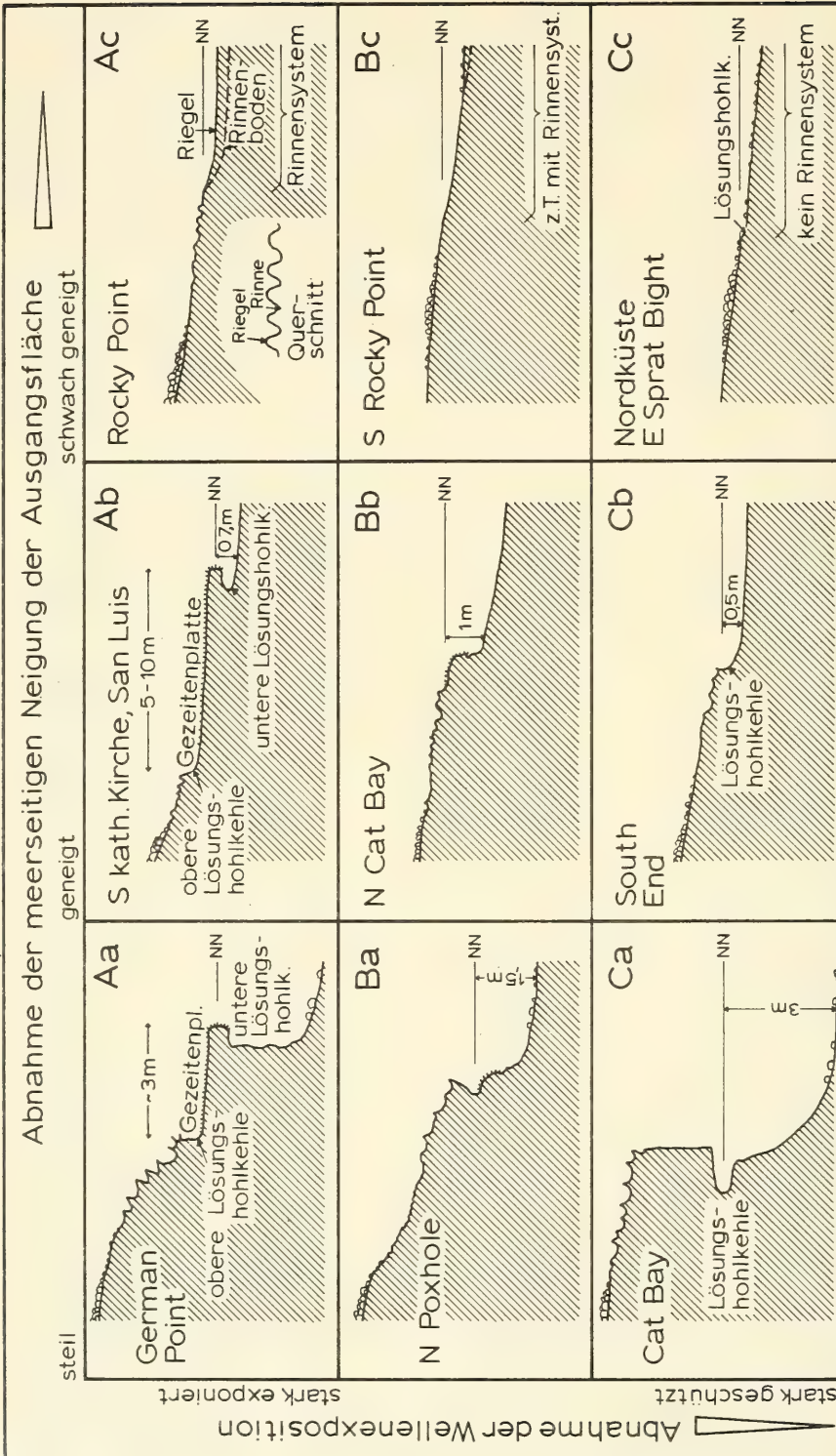


Abb. 16. Ausbildung von Lösungshohlekehle und Kliff in Abhängigkeit von der Wellenexposition und der meeresseitigen Neigung der Ausgangsfläche an der Kalksteinküste von San Andrés.
Morphology of intertidal notch and cliff in relation to wave exposure and seaward inclination of pre-erosional land surface at the limestone coast of San Andrés Island.

besonders heftiger Brandung ausgesetzt liegt, bilden sich dicke Kalkkrusten. So wurde beispielsweise auch an der Außenkante der Gezeitenplatte an der stark brandungsexponierten Ostküste der Insel Curaçao von DE BUISONJÉ & ZONNEVELD (1960, 134) Melobesienkalk von $1\frac{1}{2}$ m Mächtigkeit festgestellt. Dagegen fanden sich um San Andrés nur verhältnismäßig dünne Algenkrusten. Die Mächtigkeit der Gezeitenplatte um San Andres liegt bei etwa 30 cm und entspricht dem ungefähren mittleren Gezeitenintervall zur Nippzeit.

Das schnelle Fortschreiten der oberen Hohlkehle muß man wohl mit der verstärkten Kalklösung durch Spritzwasser erklären, welche unter Brandungsbedingungen oberhalb des Hochwasserspiegels stattfindet. Diese Lösungsvorgänge wirken nach unten nur bis in den Bereich des Mittelhochwasserspiegels, bis zu dem die Melobesien bei starker Brandung noch siedeln können. Die relativ große Breite der Oberseite der Gezeitenplatte an Kliffabschnitten mit besonders starker Brandung erklärt sich somit nicht allein mit einer verstärkten Lösung in der oberen Lösungshohlkehle, sondern ganz wesentlich auch mit einer breiteren Spritzwasserzone, in deren Bereich es zur Karrenbildung bis herab auf das Niveau des Mittelhochwasserspiegels kommt.

Normalerweise bildet das Kliff unterhalb des Gezeitenbereiches auf San Andrés einen steilen Absturz bis auf eine Abrasionsterrasse in 1–2 m Wassertiefe. Die Oberfläche der Kliffwand wird von verschiedenen Algen und vielfach auch von vereinzelt Korallen und Milleporen bewachsen. Bohrende Seeigel, besonders der Gattung *Echinometra*, können hier örtlich gehäuft auftreten. Am Fuße von Kliffen, welche zumindest zeitweise einer heftigen Brandung ausgesetzt sind, haben sich vielfach Brandungsrinnen auf der Abrasionsterrasse gebildet, welche in Abständen von nur wenigen Metern auftreten und in die einlaufenden Wellen gerichtet sind (s. S. 90).

Abhängigkeit von Neigung und Wellenexposition am Beispieleines flachen Kliffes

Die Küstenkarren sind am flachen Kliff ähnlich ausgebildet wie am steilen Kliff. Die gesamte Karrenzone wird hier jedoch meist nicht sehr breit, da der Geröllwall oder Sturmstrand bis nahe an die Wasserlinie reicht. Die gesamte Küste zeigt von der Karrenzone bis in das Flachwasser eine ziemlich gleichmäßige Neigung. Weder im Fall eines stark, noch eines schwach wellenexponierten flachen Kliffes konnte eine deutliche Hohlkehle festgestellt werden. Kliffabschnitte stärkerer Wellenexposition werden jedoch im Gezeitenbereich auffallend dichter durch Algen besiedelt.

Infolge des flachen Wassers kippen die anrollenden Wellen schon vor dem Auftreffen auf das eigentliche Kliff um. In diesem Bereich, in dem die Wellen branden, hat sich im Falle des wellenexponierten Kliffes ein System von rund 10 cm tiefen Rillen gebildet, welche im Abstand von etwa 20 bis 50 cm auftreten und in die einlaufenden Wellen gerichtet scheinen. Dieses System von Brandungsrillen fehlt an geschützten Küstenabschnitten.

Zwischen den hier angeführten 4 Extremfällen der Kliff-Morphologie von stark bis schwach wellenexponiert bei stark- bis schwachgeneigter Küste ergibt sich eine kontinuierliche Folge von Übergängen, welche an Hand von beobachteten Beispielen in Abb. 16 dargestellt wurden. Da die Wellen vor Landspornen infolge Refraktion zusammenlaufen und sich dadurch verstärken, kann man an solchen Stellen an den stärker wellenexponierten Seiten der Insel die Hohlkehlenformen der Reihe Aa—Ac beobachten. In Buchten schwächen sich die Wellen in der Regel durch Diffraktion ab, so daß hier der Hohlkehleltyp der Reihe Ca—Cc wesentlich stärker in Erscheinung

tritt. Dies gilt grundsätzlich auch für die wellengeschützte Westküste, jedoch werden hier natürlich auch an Landvorsprüngen nicht dieselben Maximalwerte der Wellenexposition erreicht, wie beispielsweise an der Nordspitze und Südspitze der Insel.

Verfolgt man die Küstenlinie eines Kliffes von einem Landsporn zu einer ruhigen Bucht, dann kann man entsprechend mit der abnehmenden Wellenexposition eine kontinuierliche Folge von Übergängen in der Hohlkehlenausbildung feststellen.

Den Einfluß der Küstenversteilung auf die Ausbildung der Kliff-Form und die sich mit dem Grad der Versteilung ergebenden kontinuierlichen Übergänge lassen sich auf San Andrés am besten am Kliffabschnitt zwischen „Blowing Hole“ und „South Channel“ beobachten.

Einflüsse von Abrasion und Bioerosion

Die Basis zahlreicher Kliffe wird durch sturmbewegtes Sediment so stark abgeschliffen, daß sich eine regelrechte *Abrasionshohlkehle* ausbilden kann. Wenn die Abrasionshohlkehle auf demselben Niveau wie die Lösungshohlkehle zu liegen kommt, dann kann sie diese beträchtlich verstärken. In der Regel liegt sie jedoch auf einem etwas tieferen Niveau. Gelegentlich schneidet sie auch die Basis der Lösungshohlkehle ab (Abb. 17a). Liegen Lösungshohlkehle und Abrasionshohlkehle auf verschiedenem Niveau, dann können sich zwei übereinanderliegende Transgressions-Terrassen ausbilden. Auf die Beziehung zwischen Hohlkehlen- und Terrassenbildung wird im folgenden Abschnitt (3.3.2.) näher eingegangen.

Die Bohrorganismen entfalten ihre stärkste Aktivität im Bereich der Lösungshohlkehle, teilweise auch an der Kliffwand darunter. Dadurch kommt es jedoch nicht zu einer weiteren Hohlkehlenbildung. In vielen der beobachteten Fälle wurde der Boden bestehender Lösungshohlkehlen durch die Tätigkeit der Seeigel deutlich unter den Niedrigwasserspiegel verlegt. In anderen Fällen hatten die Hohlkehlen das Kliff wesentlich stärker unterschritten (Abb. 17b und c). Einen häufigen Fall schließlich bildet ein etwa gleich starkes Zusammenwirken von Kalklösung, Bohraktivität von Seeigeln und von Abrasion, wie man es vor allem an der Nord- und Südspitze der Insel besonders gut beobachten kann (Abb. 17d).

3.3.2. Klifftransgression und Terrassenbildung

Als Ergebnis der horizontalen Eintiefung von Lösungshohlkehlen können sich an ihrer Basis breite *Lösungsterrassen* bilden. Diese liegen im Falle der Hohlkehlen mit geringer Brandungsexposition stets unterhalb des Mittelniedrigwasserspiegels. Beim stark brandungsexponierten Kliff entwickelt sich die Lösungsterrasse nahe dem Mittelhochwasserspiegel, da die Bildung der oberen Lösungshohlkehle wesentlich schneller fortschreitet als die der unteren. Die so entstehende Lösungsterrasse bildet die Gezeitenplatte. Durch die Eintiefung beider Lösungshohlkehlen können zwei Überhänge entstehen. Der obere wird von der Kliffwand oberhalb der oberen Lösungshohlkehle und der untere von der Gezeitenplatte zwischen beiden Lösungshohlkehlen gebildet. Besitzen die Überhänge eine ausreichende Breite, dann können sie durch starke Brandung abgerissen werden, von der Kliffwand ins tiefere Wasser abstürzen oder von einer großen Sturmwelle landeinwärts gespült werden. Auf diese Weise sind an der durch Riffe ungeschützten Westküste der Insel bei Orkanen Felsblöcke von vielen Kubikmetern Größe am Kliff abgebrochen und von den Sturmwellen im Bereich des Sturmstrandes abgelagert worden. Noch größere Ausmaße besitzen die Fels-Trümmer am Fuße des Kliffes. In vielen Fällen kann man an der Abrißkante am Kliff

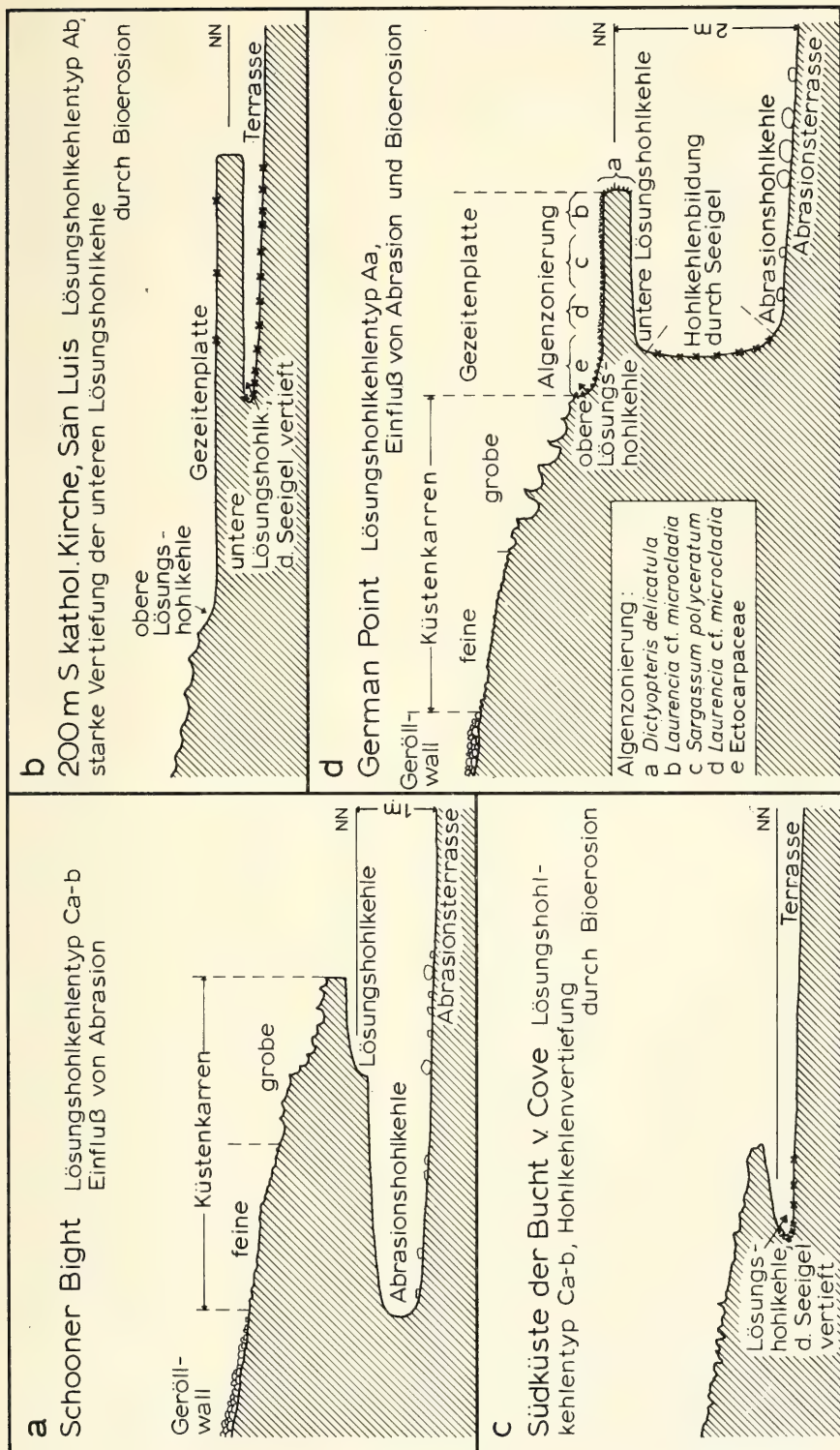


Abb. 17. Einfluß von Bioerosion und Abrasion auf die Morphologie von Hohlkehle und Kliff an der Kalksteinküste von San Andrés.
Influence of bio-erosion and abrasion on the morphology of notch and cliff at the limestone coast of San Andrés Island.

noch genau erkennen, wo die einzelnen Blöcke herausgebrochen sind. Allein durch die hier geschilderte, anhaltende Einwirkung von Lösungsvorgängen im Zwischenzeitenbereich und das periodische Abbrechen der sich bildenden Überhänge können sich an verschieden stark den Wellen exponierten Küstenabschnitten breite Terrassen bilden, deren Oberfläche etwa im Bereich zwischen dem Mittelhochwasser- und Mittelniedrigwasserspiegel liegt.

Wie weiter oben schon näher ausgeführt wurde, spielt bei der Ausbildung der Kliffmorphologie neben der Kalklösung vor allem auch die Abrasion eine entscheidende Rolle. Wenn die Lösungsterrasse eines wellengeschützten Kliffes eine bestimmte Breite erreicht hat und bei Sturm dem Einfluß von schwerer Brandung ausgesetzt liegt, kann sie durch Abrasion überschliffen und auf diese Weise tiefer verlegt werden. Während die Lösungsvorgänge auf den Zwischenzeitenbereich beschränkt bleiben, wirkt die Abrasion auch tiefer, sofern eine kräftige Wellenbewegung und eine Ausgangsplattform mit Lockermaterial in Kliffnähe vorhanden ist. Durch eine fortgesetzte Tieferverlegung der bestehenden Plattform kann es nicht selten zur Ausbildung einer weiteren, tieferliegenden Terrasse, der *Abrasionsterrasse*, kommen. Es bildet sich in diesem Fall an deren Ende am Kliff i. d. R. die oben (S. 88) erwähnte Abrasionshohlkehle.

Sowohl Lösungsterrassen als auch Abrasionsterrassen können durch die Erosion von Seeigeln und anderen Bohrorganismen vertieft werden und dadurch örtlich eine unregelmäßige Oberfläche entwickeln. Terrassen, deren Bildung ausschließlich auf die Erosionswirkung von Bohrorganismen zurückgeführt werden könnte, wurden auf San Andrés nicht festgestellt.

Bei der flächenhaften Abrasion wird das wellenbewegte Lockermaterial normalerweise ähnlich wie beim Küstenversatz längs des Kliffes in einer durch die Wellenreflexion bedingten Zickzacklinie transportiert und dadurch eine Abrasionsplattform geschaffen. Neben dieser verhältnismäßig gleichmäßigen, flächenhaft erscheinenden, kann man auf der 4 m-Terrasse der Westküste von San Andrés auch lineare Abrasionsformen beobachten. Diese können tiefer und breiter als 1 m werden und laufen meist von der Außenkante der 4 m-Terrasse in stumpfem oder rechtem Winkel auf das Kliff zu und enden vielfach in tunnelförmigen Vertiefungen innerhalb des Kliffes. Die Lage dieser *Abrasionskanäle* liegt in den meisten Fällen in Inhomogenitäten des pleistozänen Untergrundes begründet. Hierfür bildet das „Blowing Hole“ nahe der Südspitze der Insel ein überzeugendes Beispiel. In diesem Fall wurde der Abrasionskanal entlang einer tektonisch bedingten Bruchspalte im pleistozänen Kalk gebildet. Entlang der Bruchspalte wurde ein Tunnel bis etwa 10 m tief in das Kliff getrieben. Am inneren Ende dieses Tunnels ist die Überdachung nach oben durchbrochen, so daß dort bei Sturm mit jeder Welle eine mächtige Wasserfontäne bis in mehr als 5 m Höhe hochschießen kann. Ähnliche Abrasionskanäle mit weniger spektakulären „Blaslöchern“ haben sich an einer Schar paralleler Störungsbrüche in Pleistozänkalken an der Nordseite von „Schooner Bight“ gebildet.

Die Abrasionskanäle entstehen wahrscheinlich dadurch, daß Geröll entlang von Bruchspalten im Rhythmus der Brandung vor- und zurückbewegt wird. Die Tunnelbildung im Kliff wird höchstwahrscheinlich durch das Aufschlagen der Gesteins- und Korallentrümmer am Ende des Kanales bewirkt.

Als weitere lineare Abrasionsform sind die schon S. 87 erwähnten *Brandungsrinnen* auf der 4 m-Terrasse vor konvexen Küstenabschnitten zu nennen, die offenbar bevorzugt dort entstehen, wo die Wellenbewegung keine küstenparallele

Komponente besitzt und sich wohl aus diesem Grunde keine Küstenlängsströmung ausbildet (s. S. 94 ff.).

Die Geschwindigkeit, mit der das Kalksteinkliff auf San Andrés zurückschreitet, oder mit der sich die entsprechenden Terrassen bilden, wird bestimmt durch die Intensität der Hohlkehlenbildung infolge von Kalklösung, Aktivität von Bohrorganismen und Abrasion. Da die Stärke der einzelnen Faktoren offensichtlich von Ort zu Ort starken Schwankungen unterliegt, und die verschiedenen Agentien durchaus nicht überall auf demselben Niveau maximal einwirken, müssen sich von Ort zu Ort stark unterschiedliche Werte für das durchschnittliche Rückschreiten des Kliffes ergeben. So werden die Maximalwerte des Kliffzurückschreitens zweifellos an den Küstenabschnitten erreicht, an denen Lösungshohlkehle und Abrasionshohlkehle in derselben Ebene liegen. Dieser Fall tritt normalerweise dort auf, wo die jeweilige Abrasionsterrasse bis in sehr flaches Wasser reicht. Ein auffallend langsamer Kliffvortrieb ist dagegen dort zu beobachten, wo keine Abrasion auftritt und die Bildung der Lösungshohlkehle auch nicht wesentlich durch die Tätigkeit von Bohrorganismen verstärkt wird. Bei diesen Kliffen fehlt eine vorgelagerte Abrasionsterrasse. Die Kliffbasis liegt in diesen Fällen so tief, daß sich seit Erreichen des derzeitigen Meeresspiegelstandes noch keine ausreichend tiefe Lösungshohlkehle entwickelt hat, die als Ausgangsfläche für eine beginnende Abrasionsterrasse dienen könnte. Solche Kliffe sind an verschiedenen Stellen der Westküste von San Andrés zu finden.

Für die Rückschrittsgeschwindigkeit von Kliffen infolge von Kalklösung in der Hohlkehle werden von KAYE (1959, 120) auf Grund von Beobachtungen in Puerto Rico Werte angegeben, welche umgerechnet einer Vertiefung der Hohlkehle um 1,8 mm/Jahr entsprechen. Nach NEUMANN (in FAIRBRIDGE 1968, 80) beträgt die biologische Erosion von Kalksteinküsten etwa 1 mm/Jahr, kann aber in den Tropen mehr als den 10fachen Wert dieses Betrages erreichen. NEWELL (1961, 102) gibt für den Kliffzurückschritt an tropischen Kalksteinküsten Werte von 1 m in 30–60 Jahren an, welche an Hand der Breite von holozänen Küstenterrassen in der Annahme errechnet wurden, daß sich der Meeresspiegel in den letzten 3000 Jahren nicht mehr wesentlich verändert hat.

Es ist anzunehmen, daß sich um San Andrés die 4 m-Terrasse als jüngste Terrasse erst dann zu bilden begann, als sich der Meeresspiegelanstieg im jüngeren Holozän so sehr verlangsamte, daß sich eine tiefe Lösungshohlkehle, und damit eine Lösungsterrasse, ausbilden konnte. Dies muß etwa beim Erreichen der 4 m-Marke der Fall gewesen sein. Aus dem Diagramm für den holozänen Meeresspiegelanstieg von JELGERSMA (1961; abgebildet in GUILCHER 1969, Fig. 7) kann man auf eine Überflutung der 4 m-Marke vor etwa 4500 Jahren schließen. Seit dieser Zeit wurde das Küstenkliff bei sehr langsam ansteigendem Meeresspiegel an den stärker wellenexponierten Abschnitten der Westküste von San Andrés um 200–300 m, an den geschützten Buchten aber meist um Werte von weniger als 10 m zurückversetzt. An den letztgenannten Lokalitäten scheint keine Abrasion möglich zu sein. Das bedeutet, daß an Küstenabschnitten, welche der Abrasion durch Sturmwellen besonders ausgesetzt liegen und vor denen bereits eine Abrasionsplattform vorhanden ist, der Kliffvortrieb bis über 30 mal so schnell wirkt wie an den geschützteren Lagen, an denen ausschließlich Kalklösung und biogene Hohlkehlenbildung zusammenwirken. Auf diese Weise lassen sich um San Andrés absolute Werte für den Kliffzurückschritt im Jungholozän errechnen, welche weniger als 2 mm/Jahr bis zu knapp 70 mm/Jahr betragen. Ob die hohen Werte hierbei tatsächlich erreicht wurden,

hängt davon ab, ob die 4 m-Terrasse in ihrer gesamten Breite während des Holozäns gebildet wurde. Dies kann nicht als vollständig gesichert gelten, denn der letzte Meeresspiegelhochstand innerhalb der Würmeiszeit (MILLIMAN & EMERY 1968, 1123) vor etwa 30 000 bis 35 000 Jahren befand sich schon in der Nähe des heutigen Meeresspiegels. Deshalb sollte nicht ganz ausgeschlossen werden, daß sich die 4 m-Terrasse schon damals teilweise gebildet hat.

Ferner ist zweifellos die Rückschrittsgeschwindigkeit sehr hoher Kalksteinkliffe wesentlich langsamer als die flachen, schon allein deshalb, weil der Überhang erst nach beträchtlich stärkerem Unterschneiden abbrechen kann. Auch dauert es in diesem Falle entsprechend länger, bis die dann anfallenden Gesteinstrümmer am Fuße des Kliffes abgetragen sind, so daß die Klifferosion erneut einsetzen kann. Aus diesem Grunde wird die Klifferosion bei ansteigendem Meeresspiegel an einem hohen und steilen Kliff wesentlich stärker behindert als an einem flachen und niederen Kliff.

Außerdem dürfte sich ein sehr langsam ansteigender Meeresspiegel günstig auf erhöhte Terrassenbildungsraten auswirken, da dabei eine leicht meeresseitig abfallende Plattform entsteht, so daß sich die Wellen nicht an deren Außenkante, sondern in Kliffnähe brechen und dort eine verstärkte Abrasion bewirken. Es ist anzunehmen, daß die z. T. sehr breiten pleistozänen Terrassen von San Andrés sich bei einem derartig langsam ansteigenden Meeresspiegel bildeten. Auch die holozäne 4m-Terrasse ist offensichtlich so entstanden.

3.3.3. Die holozäne Riffbildung und ihre Ursachen (Entstehung des Wallriffes)

Die Beobachtungen vor der Westküste von San Andrés zeigen, daß der Korallenwuchs nur an denjenigen Abschnitten des submarinen Kliffes ein riffartiges Ausmaß annimmt, an denen die 4 m-Terrasse über 200 m Breite erreicht. Dies findet seine Erklärung in der zunehmend starken Abrasionswirkung, welche auf der 4 m-Terrasse in Richtung zum Küstenkliff zu beobachten ist. So fehlt auf der wenige Meter bis etwa 20 m breiten Abrasionsfläche unmittelbar vor dem Küstenkliff so gut wie jeder Korallenwuchs. Starke Abrasion vor der Westküste der Insel tritt vor allem saisonweise auf, wenn der Wind von N bzw. NW weht und einen Teil der seit der letzten Abrasion neu aufgesiedelten Korallen vernichtet. Deshalb ist trotz eines geeigneten Substrates ein Riffwuchs auf der 4 m-Terrasse normalerweise nicht möglich.

Ferner fällt auf, daß der Korallenwuchs auch auf der 20 m-Terrasse am besten an deren Außenkante ausgebildet ist. Hier tritt nicht nur ein besonders dichtes Korallenwachstum auf, sondern die Kolonien sind meist auch ungewöhnlich groß. In diesem Fall scheint die Ursache dafür das weitgehende Fehlen von Sedimentation zu sein, welche in den Innenbereichen der Terrasse das Wachstum der Korallen behindert.

Mit zunehmender Entfernung vom Küstenkliff nehmen die Effekte der Abrasion auf der 4 m-Terrasse auffallend ab und lassen sich an deren Außenkante kaum noch nachweisen. Die starke Abrasion im Bereich des Kliffes ergibt sich aus der hier stärkeren Wasserbewegung auf dem Terrassenboden beim Einlaufen bzw. bei der Reflexion der Wellen und bei der in diesem Bereich auftretenden Brandung. Alle Korallentrümmer, die von der Wasserbewegung mitgerissen werden, erfahren eine ständige Bewegung zum Kliff und wieder zurück. Diese Zickzackbewegung der Korallentrümmer in der sich vor dem Kliff ergebenden Pendelströmung findet normalerweise erst dann ein Ende, wenn die Trümmer über die Außenkante der Terrasse in tieferes Wasser abrutschen oder wenn sie vollständig zerrieben worden sind.

Im Außenbereich der Terrasse tritt zwar eine vergleichbare Pendelbewegung von Korallentrümmern auf. Deren Wirkung ist jedoch weniger intensiv, da hier die Partikel nicht lange verweilen, sondern entweder infolge der Asymmetrie der Wellenbewegung gegen die Küste bewegt werden oder aber bei starker Rückströmung in die Tiefe abrutschen. So wird verständlich, daß vom Küstenkliff zur Außenkante der Terrasse die Abrasion kontinuierlich abnimmt und in der Nähe des Steilabbruchs der Korallenwuchs am wenigsten gestört ist.

Das submarine Kliff läßt sich nach N verfolgen und geht hier unmittelbar in das westliche Ende des Wallriffes über. Das Wallriff zeigt zumindest in seinem südlichen Abschnitt an der Außenkante einen wesentlich stärkeren Korallenwuchs als das submarine Kliff, obwohl sich dieses als Unterlage der Korallen in das Wallriff fortsetzt. Hier ist allerdings kein Küstenkliff mehr vorhanden, sondern an seiner Stelle hat sich eine meist 1–2 m tiefe Flachwasserverbindung zwischen offenem Meer und Lagune gebildet, welche offensichtlich ein Äquivalent der 4 m-Terrasse darstellt. Trotz stellenweise extremer Wellenexposition hält sich doch die Abrasion mit Ausnahme der weiteren Umgebung der „Blowing Rocks“ in gewissen Grenzen, da abradierendes Material entweder bei starker Brandung in die Lagune gespült wird oder am steilen Vorriffabhang des Riffes auf die Vorriff-Terrasse abrutscht. Die Korallentrümmer werden offenbar nur in den Brandungsrinnen, nicht aber auf dem Riff durch eine hin- und herpendelnde Strömung zerrieben. Dies bezeugt der relativ ungerundete Korallenschutt, welcher sich auf der Lagunen-Terrasse im Bereich auch dieses Riffes abgesetzt hat, während die Korallentrümmer im Sturmstrand der Westküste zum Teil eine ausgeprägte Rundung durch Abrollung besitzen. So hat sich aus dem submarinen Kliff und der 4 m-Terrasse im N ein aktiv wachsendes Riff bilden können, obwohl im gegenwärtigen Stadium die Erosionsform noch deutlich zu erkennen ist. Vor der Westküste hingegen, wo Kliffe ein Abwandern von abradierendem Material von der 4 m-Terrasse verhindern und die Abrasion deshalb besonders stark ist, wird der Riffwuchs, selbst am Außenrand der Terrasse, auch in Zukunft stark behindert sein. Nach diesen Überlegungen wird auch die Ausbildung des übrigen rezenten Wallriffes von San Andrés verständlich. Es hat sich während der holozänen Überflutung des Insularschelfes erst bilden können, als der topographische Kamm zwischen der heutigen Vorriff-Terrasse und Lagunen-Terrasse überflutet wurde, so daß ein Transport des abradierenden Materials zur Lagune möglich wurde. So lange im Bereich des Vorriffes eine Kliffküste bestand, war dort nirgends ein zusammenhängender Korallenwuchs möglich. Nach der Überflutung konnte sich jedoch echter Riffwuchs im Bereich des topographischen Riffkammes ausbilden. Deshalb zeigen die rezenten Wallriffe von San Andrés und anderen Lokalitäten, bedingt durch ihre Bildungsgeschichte, eine lineare Anordnung und verhältnismäßig geringe Breite.

Diese Beobachtungen und Schlußfolgerungen stehen in starkem Gegensatz zu den Ergebnissen der Unterwasseruntersuchungen von ZENKOVIČ (1969a, 82) in den Korallenriffen von Kuba. Nach Angaben dieses Autors besteht der Sockel der heutigen kubanischen Riffe aus einem 2–5 m hohen Wall aus Korallentrümmern, der gegenwärtig von lebenden riffbildenden Organismen nur äußerst dünn überzogen ist. Heutzutage herrscht die Zerstörung der Oberfläche dieser Wälle vor. An verschiedenen Lokalitäten bilden die rezenten Korallenbruchstücke zusammen mit Trümmern vom Sockel eine Halde auf der Rückseite der Riffzüge. Fast überall sollen Lage und Orientierung der Riffzüge an die Umrisse von Akkumulationsformen (wie Landungen und Küstenbarren) erinnern.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen lassen dagegen kaum Raum für Zweifel, daß zumindest um San Andrés, Providencia und Great Corn Island die heutigen Riffe entlang von submarinen Geländekanten, wie vor allem ertrunkenen Kliffen, pleistozänen Riffen oder auch an den lagunenseitigen Kanten von submarinen Terrassen, aufgewachsen sind. An diesen Bereichen des submarinen Reliefs wird der Korallenwuchs normalerweise am wenigsten durch Abrasions- und Sedimentationsvorgänge behindert und erreicht deshalb unter der Voraussetzung auch sonst günstiger ökologischer Faktoren seine beste Ausbildung. Da nun Kliff- und Terrassenbildung in erster Linie von der Wellenexposition kontrolliert werden, können sich durchaus ähnliche Umrisse wie etwa bei wellenbedingten Akkumulationsformen ergeben.

3.3.4. Rinnensysteme im Bereich des Insularschelfes und ihre Bildung

Bei den Untersuchungen um San Andrés wurden folgende vier verschiedene Typen von Rinnensystemen festgestellt: Brandungsrillen am flachen Kliff, Brandungsrinnen auf der 4 m-Terrasse, Brandungsrinnen im Riff sowie Sandlinien im Riff und auf der Vorriff-Terrasse. Diese vier um San Andrés untersuchten Rinnentypen unterscheiden sich stark voneinander in der Größenordnung ihrer wichtigsten Merkmale wie Rinnentiefe, Rinnenabstand und Wassertiefe. Alle Rinnensysteme können ein sehr ähnliches Zerrfurchungsmuster bilden und sind sämtlich in die einlaufenden Wellen gerichtet. Da sich nicht selten Übergänge zwischen den einzelnen Rinnentypen beobachten lassen, kann man wohl auf einen gemeinsamen Entstehungsmechanismus der erwähnten Erscheinungen unter dem Einfluß von Wellenbewegung und Brandung schließen (vgl. Abb. 6).

Brandungsrillen am flachen Kliff

Brandungsrillen treten an wellenexponierten, flachen Kalksteinkliffs dort auf, wo sich in der Regel sehr kurze Wellen im Flachwasser brechen. Meist handelt es sich dabei um durch die Brandung im Riff induzierte Wellen. Die Rillen setzen vielfach schon im Bereich der Hochwasserlinie ein und laufen meerwärts bei 0,5–1 m Tiefe aus. Die Rillenabstände betragen nahe der Küstenlinie 20–50 cm, meerwärts auch bis zu 1 m. Nicht selten verzweigen sich die Rillen, wobei eine stärkere Gabelungstendenz zum Flachwasser hin besteht. Dadurch ergeben sich im tieferen Wasser größere Rillenabstände. Die Rillen können sowohl im Strandsandstein als auch im pleistozänen Kalk auftreten. Sie sind bis zu 20 cm tief in das anstehende Gestein eingeschnitten und erreichen normalerweise dort ihre größte Tiefe, wo bei normalem Wellengang die anrollenden Wellen umkippen. Die zwischen den Rillen auftretenden Kalksteinsporne sind in der Regel ebenso breit wie die Rillen selbst (Abb. 16Ac).

Brandungsrillen treten bevorzugt in Küstenabschnitten auf, an denen die Küstenlinie einen konvexen Bogen zum Meer hin beschreibt und genügend starke Wellen die Küste erreichen. An der im Lee des Passates liegenden Westküste der Insel ist das Wasser i. a. ruhiger; trotzdem kann auch dort örtlich eine Brandung mit Brandungsrillen auftreten, wenn die einlaufenden Wellen durch Refraktion genügend verstärkt werden.

In den meisten Rillen fand sich Sand oder Feingeröll, welches beim Durchgang jeder Welle in Richtung auf das Kliff und dann wieder zurückgespült wurde. In solchen Rillen waren deutliche Abrasionsspuren festzustellen. An manchen Stellen waren die Rillensysteme pelzartig von einer dichten Algenflora überwuchert, welche zumindest vorübergehend eine weitere Abrasion und Vertiefung der Rillen verhinderte. Ge-

legentlich wurde beobachtet, daß sich bohrende Seeigel in Rillen festgesetzt und diese durch ihre Bohrtätigkeit vertieft und erweitert hatten. An anderen Stellen hatten sich *Diploria clivosa* und *Porites astreoides* in den Rinnen angesiedelt. In diesen Fällen handelte es sich um heute nicht mehr aktive Rillensysteme, welche im Wellenschatten von Korallenhecken liegen, die offenbar erst in jüngerer Zeit bis in den Meeresspiegelbereich hochgewachsen waren und seitdem eine Brandung an der Küste normalerweise verhindern.

Brandungsrinnen auf der 4 m-Terrasse

An seewärts konvexen Abschnitten der Westküste der Insel finden sich auf der 4 m-Terrasse vielfach grabenartige Vertiefungen von etlichen Metern Länge, welche etwa rechtwinklig zur Küstenlinie verlaufen. Sie sind bis zu 2 m in die pleistozänen Terrassenkalke eingetieft und können etwa dieselbe Breite erreichen. Manche der Rinnen sind recht kurz und machen dann eher den Eindruck einer Wanne. Andere Rinnen sind langgestreckt und reichen bis an den Fuß des Kliffes. Am Rinnenboden können sie etwas breiter sein als in Höhe der Terrassenebene und zeigen dann überhängende Seitenwände. Die Wassertiefe auf der 4 m-Terrasse im Bereich der Rinnensysteme liegt bei 1–3 m. Die zwischen den Rinnen liegenden Terrassenabschnitte erreichen nur wenige Meter, z. T. auch 5–10 m Breite. Der Rinnenboden wird von grobem Geröll, z. T. auch von Sand bedeckt. Alles Grobmaterial ist gut gerundet. Die größten Brocken von mehr als 1 m Durchmesser stellen aufgearbeitetes Felsmaterial dar, welches vom Überhang des Kliffes abbrach. Daneben fanden sich auch viele abgerollte Korallenskelette. Der Rinnenboden zeigt deutliche Abrasionspuren durch dieses Geröll (Taf. 8, Fig. b).

Bei dem normalerweise vorherrschenden Nordost-Passat liegen alle derartigen Rinnensysteme im Lee der Insel. Es ist dann nur eine schwache, pendelnde Wasserströmung in den Rinnen festzustellen. Wenn allerdings der Wind im Winter zeitweise kräftig mit westlicher Komponente weht, liegt eine schwere Brandung auf dem ungeschützten Kliff der Westküste. Vermutlich schreitet die Vertiefung und Erweiterung der Brandungsrinnen nur zu diesen Zeiten fort.

Brandungsrinnen im Riff und Sandlinien

Vom Flugzeug aus erkennt man im Wallriff von San Andrés ein ähnliches Zerschneidungsmuster, wie es weiter oben von den Brandungsrillen der Küste beschrieben wurde (Taf. 1, Fig. a u. b). Allerdings liegen die Rinnen hier im Abstand von mehreren Metern bis über 10 m. Es handelt sich dabei um die meist mehrere Meter tiefen Brandungsrinnen, welche vor allem den Vorriffabhang des Riffes zerschneiden und um die sehr flachen und schmalen Sandlinien, welche meist weniger als einen halben Meter in den Untergrund eingeschnitten sind und sowohl im Riff als auch auf der Vorriff-Terrasse bis zum Außenabhang festgestellt worden sind. Der Boden beider Rinnen wird meist von einer dünnen Decke Sandes oder manchmal auch von Geröll bedeckt. Dadurch heben sich beide auch im tieferen Wasser deutlich durch ihre hellere Farbe ab und können auf Luftbildern leicht miteinander verwechselt werden.

Sandlinien wurden im Riff besonders dort beobachtet, wo der Vorriffabhang nicht durch Brandungsrinnen zerschnitten ist. Außerdem bilden sie vielfach die Fortsetzung von Brandungsrinnen am Fuße des Wallriffes und überqueren von dort die Vorriff-Terrasse. Zwischen beiden Rinnensystemen existieren fließende Übergänge. Stets liegen beide parallel zur lokal vorherrschenden Ausbreitungsrichtung der Dünen.

Die einzelnen Brandungsrinnen werden durch Riffsporne voneinander getrennt, welche um San Andrés von einem dichten Wuchs von Milleporen überwuchert sind (Taf. 5, Fig. d). Nur in vereinzelter, tieferen Regionen des Vorriffes wird *Millepora* von *Acropora palmata* vertreten. An anderen Stellen ist der Bewuchs durch Milleporen nur sehr schwach entwickelt oder er fehlt ganz. Hier kann man deutlich erkennen, daß die Basis der Sporne aus einem länglichen Kalksteinriegel besteht, welcher entstanden ist, als die Brandungsrinnen in das darunterliegende Kalkgestein geschnitten wurden. Der schwache Korallen- und Milleporenwuchs ist ganz auf den Bereich der Kämme dieser Kalksteinriegel beschränkt. Derartige Brandungsrinnen finden sich u. a. zwischen „Johnny Cay“ und dem „Top Blowing Rock“ an einer Stelle, an der ein Wallriff auch nicht andeutungsweise ausgebildet ist.

Auffallenderweise treten Sandlinien besonders dort in Erscheinung, wo sich die Riffsporne und Brandungsrinnen nur mangelhaft oder gar nicht entwickelt haben. Das sind Stellen, an denen der Riffwuchs entweder stark unterdrückt ist oder der pleistozäne Kalk, der die Basis des Riffes bildet, bis in die Nähe des Meeresspiegels aufragt, so daß die Korallen nur sehr wenig Raum zum Hochwachsen haben. Bei weiter ansteigendem Meeresspiegel können Korallen und Milleporen dort wahrscheinlich eher in die Höhe wachsen und so die Möglichkeit zur Bildung von Riffspornen und Brandungsrinnen geben. So darf man annehmen, daß die Sandlinien Kümmerstadien von Brandungsrinnen darstellen.

Entstehungsursachen

MUNK & SARGENT (1954) zeigen am Beispiel des Bikini-Atolles, daß eine direkte Beziehung zwischen der Verteilung der Brandungsrinnen und der Wellenaktivität um das Riff besteht. Die Brandungsrinnen von Bikini stellen nach der Meinung dieser Autoren einen äußerst wirkungsvollen natürlichen Wellenbrecher dar.

Die Diskussion über die Bildung von Brandungsrinnen-Systemen in Riffen hat zum Entstehen von 2 gegensätzlichen Theorien Anlaß gegeben. Während die eine Seite die Rinnensysteme in erster Linie mit dem Hochwachsen der Riffsporne durch Kalkalgen- bzw. Korallenwuchs unter Aussparung der Rinnen erklärt (KUENEN 1950; EMERY et al. 1954; SHINN 1963), deuten andere (NEWELL 1956; NEWELL et al. 1951) die Rinnen im wesentlichen als Erosionsformen, wobei die zwischengeschalteten Riegel oder Riffsporne lediglich Erosionsrelikte darstellen sollen, welche von mehr oder weniger starkem Riffwuchs überzogen werden. So zeigt SHINN (1963) mit Hilfe von Sprengungen an Korallenriffen in Florida, daß dort die Riffsporne tatsächlich vollständig von *in situ* eingebetteten Skeletten der Elchgeweihkoralle *Acropora palmata* aufgebaut werden. CLOUD (1959, 406) hingegen erwähnt Brandungsrinnen in vulkanischem Gestein und NEWELL et al. (1951, 24) beschreiben solche, die in oolithischen Kalkstein eingeschnitten wurden und unterstreichen damit den Einfluß der Erosion auf die Rinnenbildung. CLOUD (1952, 43–46) und CHEVALIER et al. (1970, 42–44) stellen ein Zusammenwirken von Erosion in den Rinnen mit Riffwuchs im Bereich der Sporne fest.

Die auffallenden Rillenbildungen im Strandsandstein von Barbados werden von McLEAN (1967) mit der Erosion entlang von vorgegebenen Sedimentstrukturen erklärt, welche sich im noch lockeren Strandsand durch Süßwasserausflüsse und Rückfluß des Wassers der auflaufenden Wellen gebildet haben sollen und bei der gegenwärtigen Oberflächenerosion wieder herauspräpariert wurden. Mit diesem Bildungsmechanismus ist allerdings nicht die Beobachtung zu vereinen, daß die Brandungs-

rillen um San Andrés gleichermaßen in die pleistozänen Korallenkalke wie auch in den Strandsandstein eingeschnitten sind.

Die Brandungsrinnen auf der 4 m-Terrasse und am „Top Blowing Rock“ (GEISTER, in Vorber.) sind offensichtlich ebenso wie die Brandungsrillen in das Substrat eingeschnitten und daher erosiven Ursprungs. Der Korallenwuchs auf den Riegeln der Brandungsrinnen ist minimal oder fehlt auch ganz. Die Oberfläche der Riegel liegt auf demselben Niveau wie die allgemeine Terrassenoberfläche. Auch die Brandungsrinnen im Riff und die Sandlinien sind zumindest teilweise erosiven Ursprungs. Darauf weisen Abrasionsspuren, Sand und abgerollte Korallentrümmer auf dem Boden der Rinnen hin. Diese Ansicht über die Bildung der Brandungsrinnen wird weiterhin gestützt durch die Beobachtung, daß im Wallriff in Abschnitten geringen Korallenwachses Kalksteinriegel aus dem pleistozänen Kalk herauspräpariert wurden. An solchen Stellen beobachtet man in der seitlichen Fortsetzung des Riffes auf benachbarten Riffspornen einen zunehmend dichteren Korallen- oder Milleporenwuchs. Dort, wo sehr tiefe Brandungsrinnen mit steilen, überhängenden Wänden auftreten, werden die Riffsporne im wesentlichen durch Riffwuchs gebildet, während die Rinnen dennoch bis zu einem gewissen Grad durch Abrasion vertieft wurden. Durch die Abrasion wird allerdings Korallenwuchs auf dem Rinnenboden fast vollständig unterdrückt. Damit wären die Brandungsrinnen im Riff und diejenigen auf der 4 m-Terrasse lediglich verschiedene Stadien eines gleichartigen Prozesses. Auch die Sandlinien sind wohl kaum etwas anderes als Brandungsrinnen, die sich bisher nicht genügend haben eintiefen können, und zwischen denen bisher kein nennenswerter Korallenwuchs stattgefunden hat.

Auffallenderweise entsprechen die mittleren Rinnenabstände größenordnungsmäßig der vorherrschenden Wassertiefe. Dies gilt für Brandungsrillen, welche in 0–50 cm Wassertiefe einen Rillenabstand von meist etwa 30–50 cm zeigen, für Brandungsrinnen in mehreren Metern Wassertiefe mit mehreren Metern Rinnenabstand und ebenso für Sandlinien auf der Vorriff-Terrasse, welche in 10–20 m Wassertiefe Abstände von mehreren Metern bis zu etwa 20 m erreichen können.

Bei Untersuchungen über die Bildung von Brandungsrillen am Strandsandstein von Barbados beobachtete McLEAN (1967, 186–187), daß dort, wo die Wellen im rechten Winkel zur Strandlinie aufliefen, das Wasser nach der Brandung nicht am Strand als Schicht gleichmäßiger Geschwindigkeit abfloß, sondern in einer Serie von Strömen verschiedener Geschwindigkeit, welche gleichen Abstand voneinander besaßen. Die Geschwindigkeiten benachbarter Ströme waren verschieden, aber jeweils den übernächsten ähnlich. Dasselbe Muster entsteht nach dem Auflaufen auch der nachfolgenden Wellen an derselben Stelle. McLEAN nahm an, daß sich dieses Fließmuster entweder in der Sedimentstruktur des Sandes erhält und später aus dem Strandsandstein herauspräpariert wird, oder daß das Muster durch Abrasion im noch ungenügend verfestigten Strandsandstein entsteht. Wahrscheinlicher scheint mir eine unmittelbare Abrasion des anstehenden Gesteines, sei es Pleistozänkalk oder Strandsandstein. Wird nämlich Sand über viele Jahre hinweg auf dieselbe Weise über festes Kalksubstrat gespült, so ist es auch bei geringen Abrasionsraten nicht schwer vorstellbar, daß im Bereich der schnellen Ströme durch die dort verstärkte abrasive Wirkung des Sandes Rinnen entstehen können. Ferner ist anzunehmen, daß sich zu Zeiten extrem starker Brandung, wie etwa bei Sturm unter der Einwirkung langperiodischer Wellen großer Amplitude, auch im tiefen Wasser analoge Verhältnisse

von einer ganz anderen Größenordnung ausbilden und dort für das Entstehen der großen Rinnensysteme letztlich verantwortlich sind.

4. Der Insularschelf: Faziell-ökologische Gliederung des rezenten Riffkomplexes

4.1. Wechselwirkung zwischen physikalischen, geologischen und biologischen Faktoren in einem Riffkomplex

Die Haupteinflüsse, welche auf einen Riffkomplex einwirken, lassen sich in folgenden 5 Faktorengruppen zusammenfassen: submarine Topographie, Verteilung der Organismen, Sedimentations- und Erosionsvorgänge, Wellenexposition und Strömung. Alle diese Faktoren stehen auf vielfältige Weise in enger Wechselbeziehung zueinander und beeinflussen sich gegenseitig in unterschiedlich starkem Maße. In verschiedenen Fällen sind darüberhinaus starke Wechselbeeinflussungen innerhalb einer Faktorengruppe zu bemerken.

Wie sich aus den vorausgegangenen Kapiteln ergibt, ist die Topographie eines rezenten Riffkomplexes durch Vorgänge der Erosion, des Riffwachses und der Sedimentation, welche gleichzeitig an verschiedenen Orten in unterschiedlicher Intensität ablaufen können, einem permanenten Wandel unterworfen. Andererseits werden Organismenverteilung sowie Sedimentations- und Erosionsvorgänge in ganz entscheidendem Maße durch die vorliegende submarine Topographie bestimmt. So hängt zum Beispiel die Verteilung der Korallenarten sowohl von der Wassertiefe als auch bis zu einem gewissen Grade vom Neigungswinkel und somit vom Relief ab. Lockersediment wird im Schutz von Mulden abgesetzt, während Riffwachstum und Erosion in den aufragenden Bereichen des Riffkomplexes vorherrschen. Außerdem hängen Sedimentations- und Erosionsvorgänge ebenso wie auch die Organismenverteilung in starkem Maße von Stärke und Richtung der Strömungen und Wellen ab. Beide Faktoren erfahren durch die submarine Topographie eine deutliche Umgestaltung. Auf diese Weise ergibt sich für einen Riffkomplex ein kompliziertes System von z. T. rückgekoppelten Vorgängen, welche ihre Antriebsenergie im wesentlichen von außen durch Wellen und Strömungen sowie auch in Form von Sonnenenergie und in bestimmten Fällen durch die Schwerkraft erhalten. Diese Wechselbeziehungen sowie ihre direkten und indirekten Auswirkungen aufeinander werden hier als *morphologisch-ökologische Dynamik* eines Riffkomplexes bezeichnet und qualitativ unter Anführung ihrer wichtigsten Beispiele in Abb. 18 dargestellt. Aus dem Schaubild wird ersichtlich, daß eine Gliederung des Riffkomplexes sich entweder auf die submarine Topographie, die Sedimentations- und Erosionsvorgänge oder auf die Verteilung der Benthosorganismen stützen könnte.

Während der Untersuchungen in den Riffen von San Andrés hatte sich jedoch gezeigt, daß die morphologische Riffgliederung mit der heutigen Verteilung von Riffwuchs und Sedimentakkumulation nur sehr unvollkommen übereinstimmt. So sind morphologische Riffe stellenweise auch dort ausgebildet, wo heute kein Riffwuchs mehr zu beobachten ist, wie etwa im „Broken Ground“. Andererseits kommt ein sehr dichter Korallenwuchs auf der 20 m-Terrasse vor der Westküste vor, die eigentlich eine Erosionsform darstellt. Diese Beobachtungen finden ihre Erklärung darin, daß der holozäne Korallenwuchs an vielen Stellen die pleistozänen Riffstrukturen und Erosionsformen nur in dünner Lage überzieht, so daß allein mit ihm

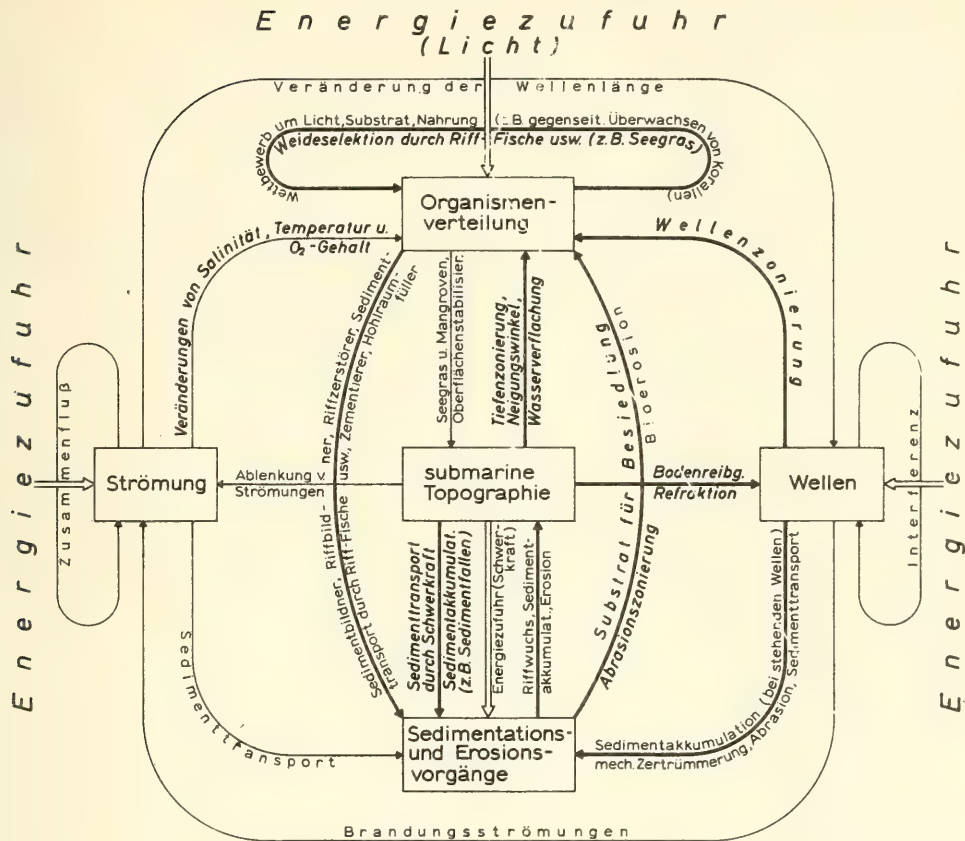


Abb. 18. Schema der morphologisch-ökologischen Dynamik von rezenten Riffkomplexen. Diejenigen Faktoren und Prozesse, welche in San Andrés direkt oder indirekt eine deutliche Zonierung erzeugen, sind mit fetten Buchstaben dargestellt.

Diagram showing dynamical relations between morphogenetical and ecological factors and processes within Recent reef complexes. Factors and processes that were found to be responsible — directly or indirectly — for clearly discernible zonations within the San Andrés reef complex were printed in bold-faced letters.

die Ausbildung der Morphologie der heutigen Riffe nicht erklärt werden kann. Es erscheint daher nicht sinnvoll, sich bei Gliederung eines rezenten Riffkomplexes allein auf die überlieferten riffmorphologischen Kategorien Wallriff, Saumriff, Fleckenriff, Lagune usw. zu stützen, da diese im wesentlichen während des Pleistozäns gebildet und nur in geringem Maße durch das holozäne Riffwachstum modifiziert wurden. Eine solche rein topographische Gliederung würde den Vergleich mit anderen rezenten Riffen wegen der im allgemeinen unbekannten und bei den einzelnen Riffkomplexen wohl auch verschiedenen morphologischen Entwicklungsgeschichte unnötig erschweren. Diese Gliederung wäre kaum zu Vergleichen mit fossilen Riffkomplexen geeignet, da hier eine genauere Ermittlung der ursprünglichen Topographie schwierig oder nicht mehr möglich ist.

Noch viel weniger wäre eine Riffgliederung praktikabel, welcher die gegenwärtig vorherrschenden Sedimentations- und Erosionsvorgänge zugrunde lägen, da in der

Ökologische Hauptfaktoren			Ökologische Nebenfaktoren				
1. Substrat	2. Beleuchtungsstärke	3. Wellenexposition	1. Abrasion	2. Strömung	3. Neigungswinkel	4. Wasser- verflachung	5. Weideselektion
L a g u n e n - F a z i e s	Tiefenbereiche und Tiefenzonen	Wellenzonen	—	Strömungszonen	—	Zonenvertretung	Zonenausfall bzw. -verarmung
R i f f - F a z i e s	Tiefenbereiche und Tiefenzonen	Brandungsriff- Typen und Wellenzonen	Abrasions- Wellenzonen	Strömungszonen	Mischzonen- bildung und Zonenvertretung	Zonenvertretung	Speziesverarmung?
				Strömungszonen	—	—	—
H a r t g r u n d	—	Abrasions-Wellenzonen		Strömungszonen	—	—	—

Tab. 3. Die Haupt- und Nebenfaktoren der Organismenverteilung und ihr Geltungsbereich in den 3 Faziesbereichen.

The primary and secondary factors of organism distribution and their effective range within the three facies areas.

Regel deren Stärke und Einfluß lokal stark variieren und im einzelnen nur selten abgeschätzt werden können. Außerdem ist keine detaillierte Gliederung denkbar, die sich auch auf fossile Riffe übertragen ließe.

In der vorliegenden Arbeit ist deshalb der Versuch gemacht worden, eine Gliederung und Klassifikation des rezenten Riffkomplexes nach faziellen und ökologischen Gesichtspunkten durchzuführen; die Ergebnisse sind in Abb. 22 und 23 dargestellt.

4.2. Untergliederung des Riffkomplexes in Faziesbereiche

Um eine Riffgliederung auf ökologischer Grundlage durchführen zu können, wurden aus Abb. 18 alle diejenigen Faktoren in Tab. 2 übertragen, welche die Organismenverteilung in deutlich erkennbarem Maße beeinflussen. Auf diese Weise finden sich die Faktoren verzeichnet, welche (1) die Bedeutung der submarinen Topographie widerspiegeln, (2) die Sedimentations- und Erosionsvorgänge sowie schließlich die Wellen, Strömungen und die wechselseitigen Einflüsse der verschiedenen Organismen aufeinander berücksichtigen. So ergeben sich 8 Faktoren, die deutlich erkennbar die Organismenverteilung kontrollieren: Beleuchtungsstärke, Neigungswinkel, Wasserverflachung, Substrat, Abrasion, Wellenexposition, Strömung und Weideselektion. Jede Änderung eines dieser Faktoren bedingt entweder einen graduellen oder einen vollständigen Organismenwechsel.

Es wurde versucht, die einzelnen Faktoren nach ihrer Bedeutung und Wirkungsbreite hierarchisch anzuordnen (Tab. 3). Die ersten drei dieser Faktoren — Substrat, Beleuchtungsstärke und Wellenexposition — sind im Bereich von rezenten Flachwasserriffen fast überall und ständig wirksam und werden deshalb in Tab. 3 als *ökologische Hauptfaktoren* hervorgehoben. Die übrigen bewirken lediglich lokale Besonderheiten der Organismenverteilung und sind nur von sekundärer Bedeutung. Sie werden daher als *ökologische Nebenfaktoren* bezeichnet.

Eine natürliche Untergliederung des Meeresbodens ergibt sich durch den Faktor Substrat, d. h. durch die Beschaffenheit des Meeresbodens. Die faziellen Unterschiede, welche sich hier feststellen lassen, beruhen in erster Linie auf der Verbreitung von Sedimenten und Hartsubstrat sowie den aufsiedelnden charakteristischen Benthos-Gemeinschaften. In dieser Arbeit werden drei verschiedene Faziesbereiche aus-
geschieden:

Riff-Fazies

Sie wird charakterisiert durch den Riffwuchs, der bevorzugt auf den Konvexformen und an den topographischen Kanten des Insularschelfes zu beobachten ist. Durch ihren Wuchs und die etwas prominentere Basis erheben sich die Riffe über ihre Umgebung. Durch Wellen, Strömungen und Schwerkraft wird der Bereich der Riff-Fazies, begünstigt durch seine exponierte Lage, vielfach von Lockersediment freigehalten.

Die Begriffe „Vorriff“ und „Rückriff“ wurden hier ausschließlich im riffmorphologischen Sinne gebraucht. So umfaßt das Vorriff die gesamte Riff-Fazies vor und das Rückriff diejenige hinter dem Riffkamm bzw. hinter der Riffplatte. Bei Vorriff und Rückriff handelt es sich jedoch um strukturelle Korallenriffe oder um Korallenvergesellschaftungen, in keinem Fall aber um flächenhafte Ablagerungen von Lockermaterial hinter dem eigentlichen Riff, welche hier ausnahmslos zur Lagunen-Fazies gezählt werden. Die „back reef facies“ verschiedener Autoren bildet dagegen Bestandteil der Lagunen-Fazies in der Definition der vorliegenden Arbeit.

Lagunen-Fazies

Es wird vorwiegend vom Riff her eingeschwemmter Detritus akkumuliert. Zur Sedimentbildung tragen daneben auch die Hartteile der Lagunenorganismen bei. Die Lagunen-Fazies nimmt die ruhigeren Lagen in den Mulden zwischen aufragenden Riffen sowie den Wellenschatten-Bereich hinter submarinen Geländekanten ein.

Hartgrund-Fazies

Hier herrscht kein dichter Wuchs hermatypischer Skelettbildner vor. Kommt es überhaupt zu einer Besiedlung durch Riffbildner, so wird sie durch periodische Abrasionsvorgänge und die Aktivität von Bohrorganismen alsbald wieder vernichtet. Die sessilen Charakterorganismen des so definierten Hartgrundes sind Oktokorallen, insbesondere die Gattungen *Gorgonia* und *Plexaura*, sowie *Diploria clivosa* und andere Scleractinier mit inkrustierender Wuchsform. Strömungen und vor allem Wellen verhindern eine permanente Sedimentakkumulation. Aus diesem Grunde bleibt das Auftreten der Hartgründe ganz auf Bereiche oberhalb der Wellenbasis beschränkt. Hierher gehören vor allem submarine Kalksteinterrassen, welche sich bei tieferen Meeresspiegelständen während des Pleistozäns oder wie die 4 m-Terrasse im Laufe des Holozäns gebildet haben. Die pleistozänen Abrasionsterrassen im tieferen Wasser, wie etwa der 40 m-Terrassenabsatz, liegen gegenwärtig unterhalb der Wellenbasis. Sie sind deshalb von Sediment bedeckt und müssen zur Lagunen-Fazies gezählt werden.

Die heutige Faziesverteilung im Bereich des Insularschelfes von San Andrés geht letztlich auf die Topographie des pleistozänen Erosionsreliefs und auf die jüngsten pleistozänen Riffstrukturen zurück, welche bei der holozänen Transgression erneut unter Wasser zu liegen kamen. Nach der Überflutung des Schelfes begannen sich Lockersedimente zu bilden und überwiegend in den Konkavformen der submarinen Topographie anzusammeln. Der Riffwuchs setzte dagegen in den Bereichen des Insularschelfes ein, welche durch die kombinierte Aktion von Wellenbewegungen und Schwerkraft von feinen Sedimenten freigehalten wurden. Hartgründe bildeten sich dort aus, wo bei fehlender Sedimentakkumulation die Erosionsvorgänge stärker als der Riffwuchs waren oder diesem zumindest die Waage hielten.

Da Wellen, Strömungen und Schwerkraft das im Riffbereich anfallende Lockermaterial überwiegend in den Bereich der Lagune befördern, wird auf diese Weise auch bei Fortschreiten von Sedimentation und Riffwuchs ein größeres Überlappen beider Faziesbereiche normalerweise so lange verhindert, als ein deutliches submarines Relief vorhanden ist und die Riffe in die Höhe wachsen können. Durch die Bindung der Riffbildner an Hartsubstrat bleibt die Abgrenzung zwischen Riff- und Lagunen-Fazies über einen längeren Sedimentationszeitraum erhalten. Der Hartgrund nimmt in verschiedener Hinsicht eine vermittelnde Stellung zwischen Riff- und Lagunen-Fazies ein und ist — über längere Zeit hinweg betrachtet — wesentlich instabiler. Dort, wo er holozäne Abrasionsplattformen bildet, kann er im Laufe der Zeit in die Riff-Fazies übergehen. Das wird dann der Fall sein, wenn der Hartgrund ausreichend Abstand vom rezenten Kliff gewonnen hat, so daß die dort zeitweise herrschende kräftige Abrasion nicht mehr zur Wirkung kommt. Gerät andererseits ein Hartgrund in den wellengeschützten Bereich, etwa durch ein Ansteigen des Meeresspiegels, so wird die Sedimentakkumulation nicht mehr durch den Wellengang verhindert. Der Hartgrund wird dann von Lagunen-Fazies abgelöst. Aus diesen Gründen werden Hart-

gründe wahrscheinlich nur in relativ jungen, d. h. unentwickelten Riffkomplexen angetroffen, welche in Meeresgebieten mit kräftiger Dünung liegen.

Alle drei Faziesbereiche werden von charakteristischen Benthos-Organismen besiedelt, welche in starkem Maße von weiteren ökologischen Faktoren wie Wassertiefe, Wellenbewegung, Abrasion u. a. abhängen. Da diese Faktoren das Gedeihen vieler Organismen im positiven oder negativen Sinne beeinflussen und von Ort zu Ort stark variieren, ergibt sich eine Vielzahl von Intensitätsabstufungen, die an der Organismenverteilung erkennbar sind und sich im Idealfall in einer deutlichen Zonierung äußern. Bei richtiger Interpretation der Faunenzusammensetzung kann man darum die mittlere Stärke der einzelnen ökologischen Faktoren abschätzen. Es soll deshalb im folgenden versucht werden, die Faziesbereiche in möglichst kleine biosoziologische Einheiten oder *Zonen* zu untergliedern, welche die ökologische Situation in ihrem Bereich möglichst deutlich widerspiegeln. Auf Grund einer solchen Gliederung wäre nicht nur ein relativ genauer Vergleich mit anderen rezenten westindischen Riffen, sondern auch mit ähnlich aufgebauten fossilen Riffen möglich. Wenn nun die im rezenten Riff gewonnene Gliederungseinheit tatsächlich durch die heute örtlich vorherrschenden ökologischen Bedingungen bestimmt wird, und man sie in fossilen Riffen wiederfindet, dann könnte man mit ihrer Hilfe die dort einstmals vorherrschenden Umweltbedingungen zumindest teilweise rekonstruieren.

4.3. Untergliederung der Riff-Fazies

4.3.1. Tiefenzonen und Tiefenbereiche

Die bathymetrische Verbreitung der wichtigsten westindischen Korallen wurde in Abb. 19 in der Reihenfolge abnehmender Tiefenreichweite graphisch dargestellt. Da um San Andrés für den tieferen Außenabhang kein eigenes Beobachtungsmaterial vorliegt, lehnen sich die Werte für die untere Verbreitungsgrenze an die Zahlenangaben für Jamaika aus GOREAU & WELLS (1967) an. Dabei wurde die Annahme zugrunde gelegt, daß diese Werte zumindest in grober Näherung für den westkaribischen Raum repräsentativ sind. Die obere Verbreitungsgrenze der einzelnen Arten wurde auf Grund der Unterwasserbeobachtungen den Verhältnissen um San Andrés angeglichen.

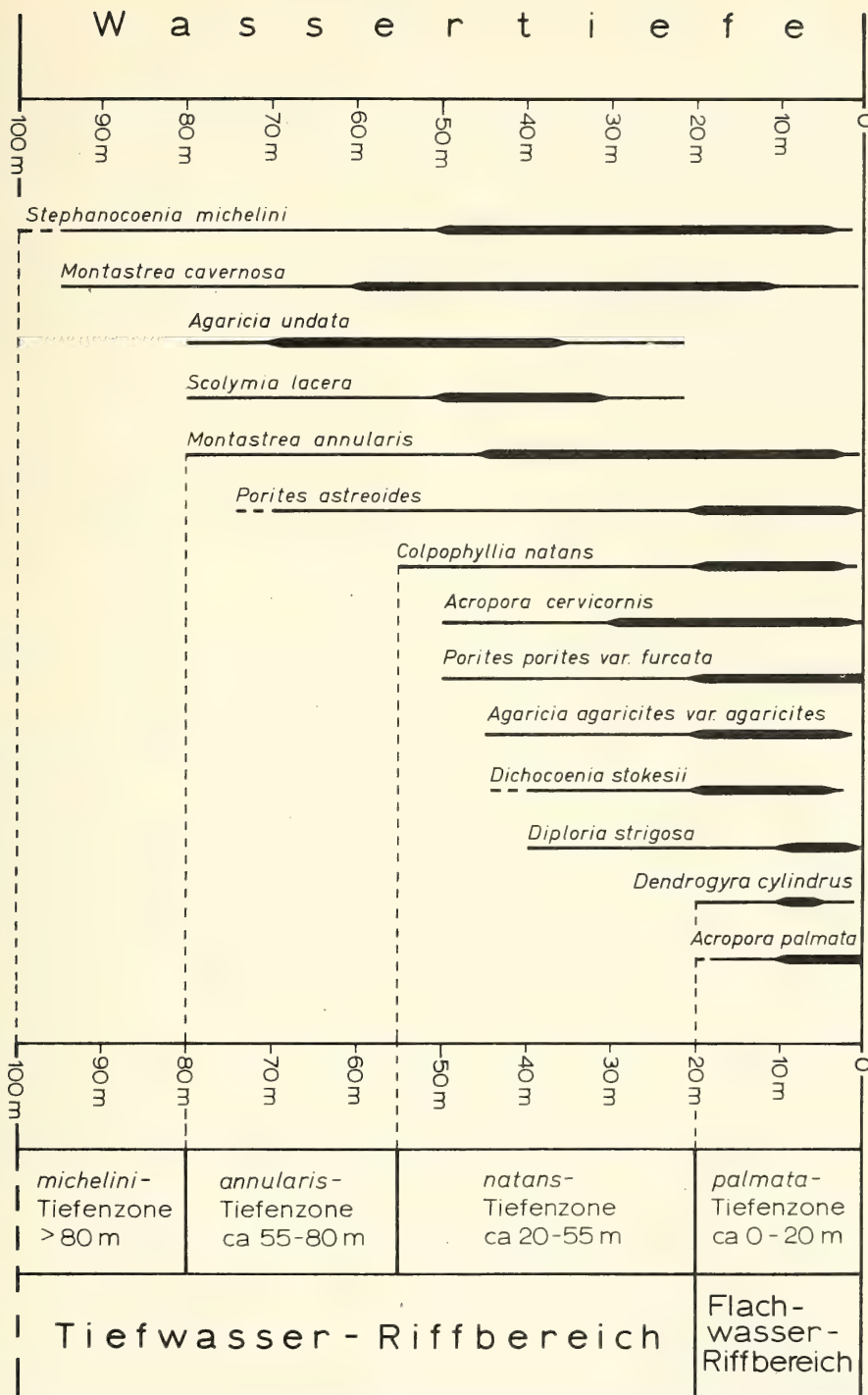
Basierend auf der unterschiedlichen Tiefenverbreitung einiger besonders häufiger und auffallender Korallen wird hier eine Unterteilung der Riff-Fazies in folgende *Tiefenzonen* vorgeschlagen:

palmata-Tiefenzone (0—ca. 20 m)

Als flachste der Tiefenzonen umfaßt sie den gesamten Bereich der beobachteten bathymetrischen Verbreitung von *Acropora palmata*. Unter 15 Metern ist diese Korallenart um San Andrés allerdings nur noch selten anzutreffen. In wellengeschützten Riffabschnitten wird diese Tiefenzone um San Andrés durch das Auftreten von *Dendrogyra cylindrus* ebenfalls gut charakterisiert.

Abb. 19. Bathymetrische Verbreitung der häufigsten karibischen Riffkorallen und Aufstellung von Tiefenzonen (Tiefenverbreitung weitgehend nach GOREAU & WELLS 1967, verändert nach Beobachtungen um San Andrés). Verbreitungsoptimum dick ausgezogen.

Depth zonation based on bathymetric distribution of common West Indian hermatypic scleractinians (depth distribution of corals mainly drawn from GOREAU & WELLS 1967, modified according to observations in San Andrés). Optimal range indicated by heavy line.



natans-Tiefenzone (ca. 20—55 m)

Sie setzt unmittelbar unter der *palmata*-Tiefenzone ein und reicht bis an die Untergrenze des Auftretens von *Colpophyllia natans*. Charakteristisch für sie ist das relativ häufige Vorkommen von *Montastrea annularis*, *Scolymia lacera* und *Agaricia undata*. Die Hauptverbreitung von *Colpophyllia natans* liegt allerdings im Bereich der *palmata*-Tiefenzone (Taf. 7, Fig. d).

annularis-Tiefenzone (ca. 55—ca. 80 m)

Sie schließt unten an die *natans*-Tiefenzone an und reicht bis zur Untergrenze des Auftretens von *Montastrea annularis*, *Agaricia undata* und *Scolymia lacera*. Die Hauptverbreitung von *Montastrea annularis* liegt aber im Bereich der *palmata*- und *natans*-Tiefenzone.

michelini-Tiefenzone (ca. 80—> 95 m)

Sie ist die unterste Tiefenzone des Rifffkomplexes und reicht bis an die untere Verbreitungsgrenze von *Stephanocoenia michelini*, der hermatypischen Koralle mit der größten bathymetrischen Reichweite. Einziger hermatypischer Begleiter scheint im oberen Bereich dieser Tiefenzone *Montastrea cavernosa* zu sein.

Flachwasser-Riffbereich und Tiefwasser-Riffbereich

Eine derartige bathymetrisch-ökologische Rifffgliederung läßt sich besonders dann sinnvoll anwenden, wenn ein Rifffkomplex große Tiefenunterschiede zeigt, wie etwa im Bereich des Außenabhanges von San Andrés, wo der Meeresboden an der Abbruchkante der Vorriff-Terrasse auf mehr als 100 m Tiefe steil abfällt. Nicht sinnvoll ist sie dagegen im Bereich der Lagune, wenn die Korallen wie um San Andrés bis in kaum mehr als 8 m Tiefe auftreten. Unter dem Einfluß der Wellen haben sich hier wie auch im flacheren Wasser des Außenriffes mono- oder bispezifische Gruppierungen von Korallen herausgebildet, so daß eine mögliche bathymetrische Verteilung in diesem Bereich verschleiert würde. Es wurde deshalb in vorliegender Arbeit die gesamte Riff-Fazies in einen Flachwasser- und in einen Tiefwasser-Riffbereich aufgeteilt. Der Flachwasser-Riffbereich liegt im Bereich der Auswirkung der Wellen und umfaßt die gesamte *palmata*-Tiefenzone. Er endet damit an der unteren Verbreitungsgrenze von *Acropora palmata* und *Dendrogyra cylindrus* oder auch mit dem ersten Auftreten von *Agaricia undata* und *Scolymia lacera*. Der Grenzbereich ist — wie auch die Grenzen der Tiefenzonen — nicht scharf zu fassen. Der Tiefwasser-Riffbereich umfaßt den flächenmäßig wahrscheinlich weit größeren Teil der Riff-Fazies von San Andrés und sämtliche Zonen unterhalb der *palmata*-Tiefenzone. Da er unter der Wellenbasis liegt, zeigt er eine wesentlich gleichmäßigere Verteilung der in den jeweiligen Tiefen auftretenden Korallen. Die Grenze zwischen den beiden Riffbereichen fällt um San Andrés etwa mit der Außenkante der Vorriff-Terrasse in meist 18—20 m Tiefe zusammen.

4.3.2. Brandungsriff-Typen und Wellenzonen

Auf dem Insularschelf von San Andrés treten infolge des lebhaften Reliefs eine Vielzahl von Riffen unterschiedlichster Wellenexposition auf. Wie S. 79—80 ausgeführt, kann man 6 Rifftypen unterscheiden, welche an verschieden starke Wellenexposition angepaßt sind und jeweils eine charakteristische Korallenfauna im Bereich

des Riffkammes oder der Brandungszone zeigen. Sie sollen hier Brandungsriff-Typen genannt werden und sind nachstehend in einer Reihe zunehmender Wellenexposition angeführt:

In der Brandungszone vorherrschende Organismen	Brandungsriff-Typ	Auftreten um San Andrés und Providencia (Beispiele)
<i>Montastrea annularis</i>	<i>annularis</i> -Brandungsriff	Fleckenriffe Busty, Red Shoal u. a.
<i>Porites porites</i>	<i>porites</i> -Brandungsriff	Long Shoal, Dry Shoal, Saumriffe Cotton Cay und Paradise Point
<i>Acropora cervicornis</i>	<i>cervicornis</i> -Brandungsriff	Westabschnitt von Little Reef, Fleckenriffe in Providencia vor Elektrizitätswerk
<i>Diplora strigosa</i> und <i>Acropora palmata</i>	<i>strigosa-palmata</i> -Brandungsriff	Mittel- und Ostteil von Little Reef, Bar, verschiedene Fleckenriffe
<i>Palythoa</i> sp. und <i>Millepora</i> sp.	<i>Palythoa</i> - <i>Millepora</i> -Brandungsriff	Big Reef, East Reef, Wallriff Providencia, Saumriff S Sound Bay
Melobesieae	Melobesieae-Brandungsriff	Top Blowing Rock, NW-Ende Wallriff in Providencia

Neben der Brandungszone lassen sich bei den meisten Riffen des Flachwasser-Riffbereiches weitere parallele Organismenzonen sowohl am Vorriff als auch am Rückriff erkennen (Taf. 9, Fig. a—e). Diese Zonierung beruht offensichtlich auf der beim Durchgang der Dünungswellen schon am tieferen Vorriff auftretenden starken Wellenbewegung und auf dem Abfluß des turbulenten Wassers hinter der Brandungszone in Richtung auf die Lagune. Die zunehmende Wassertiefe am Vorriffabhäng bedingt eine Intensitätsabnahme der Wellenbewegung. Diese Abnahme findet offensichtlich ihren Ausdruck in der beobachteten Zonenbildung. Ganz entsprechend nimmt die Turbulenz der Brandungsströmungen auf der Lagunenseite mit wachsender Entfernung vom Riff ab. Dadurch wird verständlich, daß sich die hinteren Wellenzonen im Gegensatz zu den vorderen durchaus alle in derselben Wassertiefe wie die Brandungszone befinden können. Dort, wo die vorderen und hinteren Wellenzonen gut ausgebildet sind, zeigen sie eine charakteristische Gliederung. In Abb. 20 wurden die 6 Brandungsriff-Typen stark schematisiert wiedergegeben und in die jeweils im Optimalfall auftretenden Wellenzonen untergliedert:

annularis-Brandungsriff

Korallenriffe, welche der Wellenbewegung nur minimal oder normalerweise auch gar nicht ausgesetzt sind, lassen keinerlei Wellenzonierung erkennen. Die Korallen-Vergesellschaftung besteht vorwiegend aus *Montastrea annularis* und zeigt eine artenreiche Begleitfauna, zu der *Colpophyllia natans*, *Mussa angulosa*, *Isophyllia* ssp., *Isophyllastrea rigida* gehören, welche in den höher energetischen Wellenzonen so gut wie vollständig fehlen. Daneben treten *Siderastrea siderea* und *S. radians*, *Montastrea cavernosa*, *Diploria strigosa*, *D. labyrinthiformis* sowie *D. clivosa* und gelegentlich auch *Dendrogyra cylindrus* und *Acropora cervicornis* auf. *Acropora palmata* so-

wie ein stärkerer Wuchs von Milleporen fehlen hier meist vollständig. Wegen des zahlenmäßigen Vorherrschens von *Montastrea annularis* wird die gesamte Faunenassoziation als *annularis*-Brandungszone bezeichnet (Taf. 7, Fig. a, b u. c).

porites-Brandungriff

Verschiedene Riffe, die nur relativ schwachen, kurzperiodischen Wellen ausgesetzt sind, zeigen im Bereich des Riffkammes einen dichten Wuchs der Fingerkoralle *Porites porites* var. *furcata* mit einer meist nur wenig in Erscheinung tretenden Begleitfauna von *Porites astreoides* und *Favia fragum*. Der *porites*-Rasen reicht stellenweise in die Nähe des mittleren Niedrigwasserspiegels und kann dann bei Springniedrigwasser trockenfallen. An der Vorderkante fällt das Riff normalerweise steil um 0,5 bis 1 m ab. Am Fuße des Vorriffabhanges unterhalb des Wirkungsbereiches der kurzperiodischen Wellen ist vielfach die *annularis*-Wellenzone ausgebildet. Diese besteht in der Regel aus verstreuten Köpfen von *Montastrea annularis*, zu der als Begleitfauna einige große Kolonien von *Porites astreoides* treten (Taf. 6, Fig. d).

cervicornis-Brandungriff

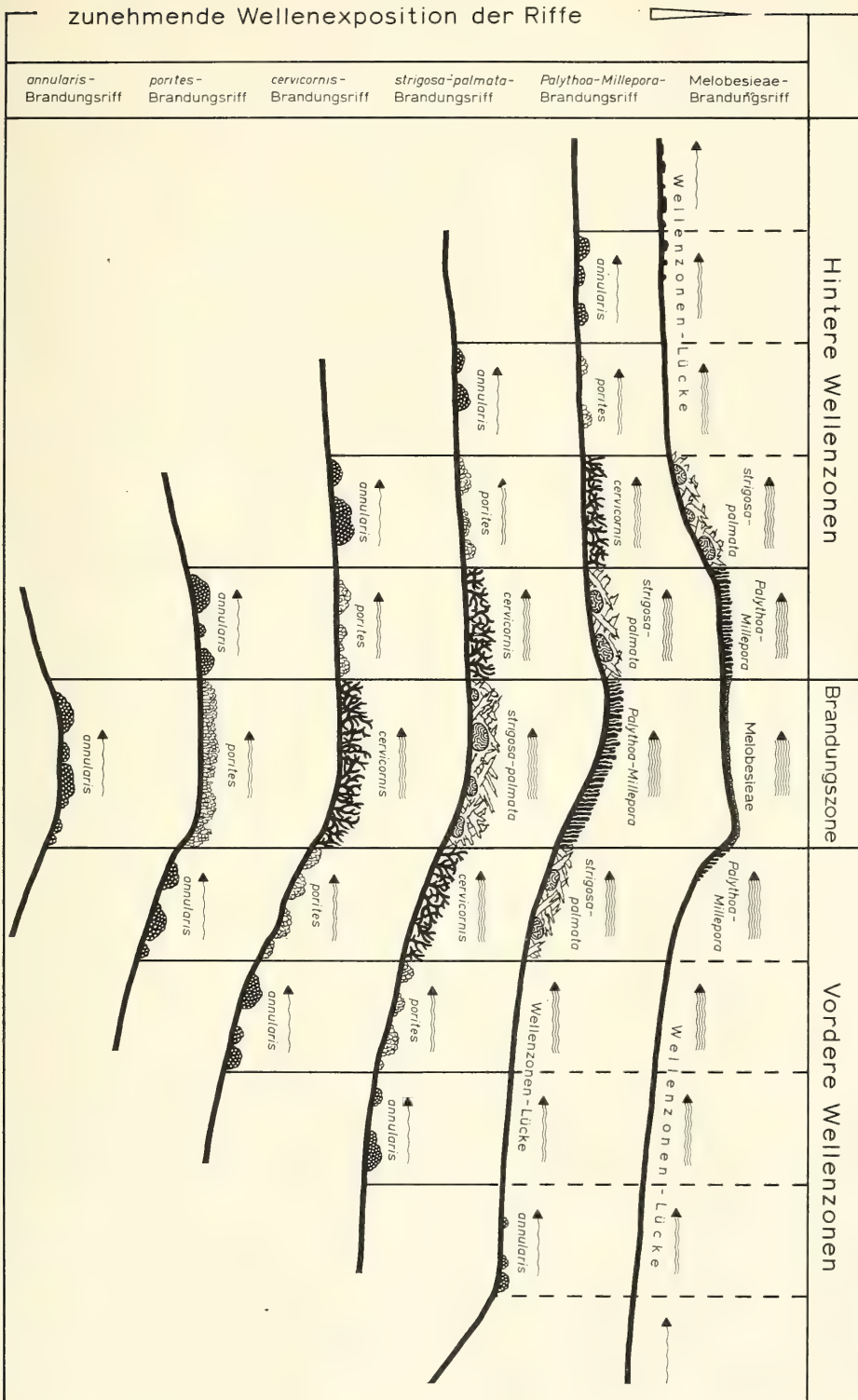
Bei Riffen von noch etwas stärkerer Wellenexposition tritt in der Brandungszone an Stelle des *porites*-Rasens eine mehr oder weniger dichte Hecke von *Acropora cervicornis* auf. In der *cervicornis*-Brandungszone kommen *Porites astreoides*, *P. porites*, *Favia fragum*, vereinzelte Kolonien von *Diploria strigosa* und *D. clivosa*, *Millepora* sowie gelegentlich auch *Acropora palmata* als Zonenbegleiter vor. Falls die *cervicornis*-Brandungszone nicht unmittelbar an die Lagune grenzt, kann am Vorriff-Abhang noch die *porites*-Wellenzone und die *annularis*-Wellenzone ausgebildet sein. Beide Wellenzonen sind, falls vorhanden, nicht als durchgehende Bänder entwickelt, sondern in der Regel des öfteren unterbrochen. Sie zeigen jedoch grundsätzlich eine Anordnung mit großen, polsterartigen *porites*-Kolonien am Vorriff-Abhang und *Montastrea annularis* in den fernerer und tieferen Außenbereichen. Auch die Grenze zwischen der *cervicornis*-Brandungszone und der *porites*-Wellenzone braucht durchaus nicht sehr scharf zu sein. Vielfach kommen im Übergangsbereich beide Arten gemischt vor.

strigosa-palmata-Brandungriff

Noch stärker wellenexponierte Riffe werden gekennzeichnet durch eine Brandungszone, in der Hecken von *Acropora palmata* zusammen mit großen hemisphärischen Kolonien von *Diploria strigosa* dominieren. Die Begleitfauna der *strigosa-palmata*-Brandungszone bilden unter anderem *Porites astreoides*, *Diploria clivosa*, *Favia fra-*

Abb. 20. Idealisierter Wellenzonen-Aufbau von wallförmigen westkaribischen Korallenriffen, welche sich unter dem Einfluß abgestufter Wellenexposition (vgl. Pfeile) entwickelt haben. Es ergeben sich insgesamt 6 Brandungriff-Typen. Auf diese können alle um San Andrés angetroffenen Flachwasser-Riffe zurückgeführt werden.

Idealized wave zonation pattern of crest-shaped western Caribbean coral reefs developing under the influence of graduated wave exposure (see arrows). Six characteristic reef types may be distinguished. From these practically all the actually existing shallow-water reefs of San Andrés can be derived.



gum sowie *Millepora complanata*. *Acropora cervicornis*, falls vorhanden, bildet eine Wellenzone in wellengeschützter Lage hinter dem Riffkamm etwa in gleicher Tiefenlage wie *A. palmata*. Die vordere *cervicornis*-Wellenzone im exponierten Außenriff liegt jedoch meist zwischen 2 und 4 m tief. Die Wellenzonen von *porites* und *annularis*, wenn ausgebildet, sind in noch geschützteren bzw. tieferen Lagen anzutreffen (Taf. 3, Fig. b u. c; Taf. 4, Fig. b u. c; Taf. 9, Fig. d).

Palythoa-Millepora-Brandungsriff

Dort, wo der Riffkamm um San Andrés der schweren Brandung der ozeanischen Dünung ausgesetzt ist, wird die Brandungszone fast ausschließlich von einem dichten Wuchs von *Palythoa* und *Millepora* bestimmt (Taf. 5, Fig. d; Taf. 9, Fig. c). Die Begleitfauna besteht hier aus *Porites astreoides*, *Diploria clivosa* und *Favia fragum*. Örtlich tritt *Porites porites* sowie in vereinzelt Kolonien auch *Acropora palmata* hinzu. Die vordere und hintere *strigosa-palmata*-Wellenzone ist in der Regel ausgebildet. Die vordere liegt in etwa 6–10 m Tiefe im Übergangsbereich zur Vorriff-Terrasse (Taf. 5, Fig. c), die hintere im Rückriff im Schutze großer *Millepora*-Kolonien (Taf. 5, Fig. a u. b). Vielfach findet sich die Fauna dieser Wellenzone auch fleckenhaft in Depressionen innerhalb der Brandungszone. Die hintere *cervicornis*-, die *porites*- sowie die *annularis*-Wellenzone sind selten gemeinsam ausgebildet (Taf. 6, Fig. a u. b). Mitunter fehlen sie auch. Das liegt dann meist daran, daß nach der hinteren *palmata*-Zone ein Absatz folgt, hinter dem sich Lockermaterial aus dem Riff sammelt, welches als Substrat für einen zusammenhängenden Riffwuchs ungeeignet ist.

Die vorderen Wellenzonen sind beim *Palythoa-Millepora*-Brandungsriff nur lückenhaft ausgebildet und erscheinen räumlich weit auseinandergezogen. Die vordere *cervicornis*-Wellenzone wurde um San Andrés bei diesem Riffotyp nirgends angetroffen und auch die vordere *porites*-Wellenzone ist nur sehr sporadisch ausgebildet. Der freie Zwischenraum wird von einer meist mehr als 200 m breiten Felsplattform, nämlich der Vorriff-Terrasse, eingenommen, auf der sämtlicher Korallenwuchs so gut wie vollständig unterdrückt ist. Erst kurz vor dem Außenabbruch der Vorriff-Terrasse setzt der Riffwuchs wieder mit einer selten ausgebildeten vorderen *porites*-Wellenzone ein. Daran schließt sich die vordere *annularis*-Wellenzone an, welche in den Tiefwasser-Riffbereich überleitet. Im Falle von „Big Reef“ kann man beobachten, daß die Wellenzonen-Lücke von der Vorriff-Terrasse über die vordere *strigosa-palmata*-Wellenzone bis teilweise in die *Palythoa-Millepora*-Brandungszone übergreift. Die vordere *strigosa-palmata*-Wellenzone bleibt dabei als isolierter Streifen erhalten.

Melobesia-Brandungsriff

In denjenigen Riffabschnitten, welche durch Refraktions- und Interferenzerscheinungen fast das ganze Jahr über einer extrem heftigen Brandung ausgesetzt sind, kann sich weder *Palythoa*, noch *Millepora* in der Brandungszone behaupten. Der Riffkamm wird hier von einem Kalkalgenwall eingenommen, der in erster Linie aus roten, inkrustierenden Kalkalgen vom *Lithothamnium*-Typus (*Melobesia*) aufgebaut wird (Taf. 9, Fig. e). Es wurde hier die *Palythoa-Millepora*-Wellenzone sowohl im höheren Abschnitt des Vorriffabhanges als auch unmittelbar hinter dem Kalkalgenwall festgestellt. Darüberhinaus ist keine weitere vordere Wellenzone entwickelt. Auf der Rückseite wurde nur die *strigosa-palmata*-Wellenzone in lückenhafter Ausbildung beobachtet. Es ist also eine vordere und hintere Wellenzonenlücke vorhanden. Dieser

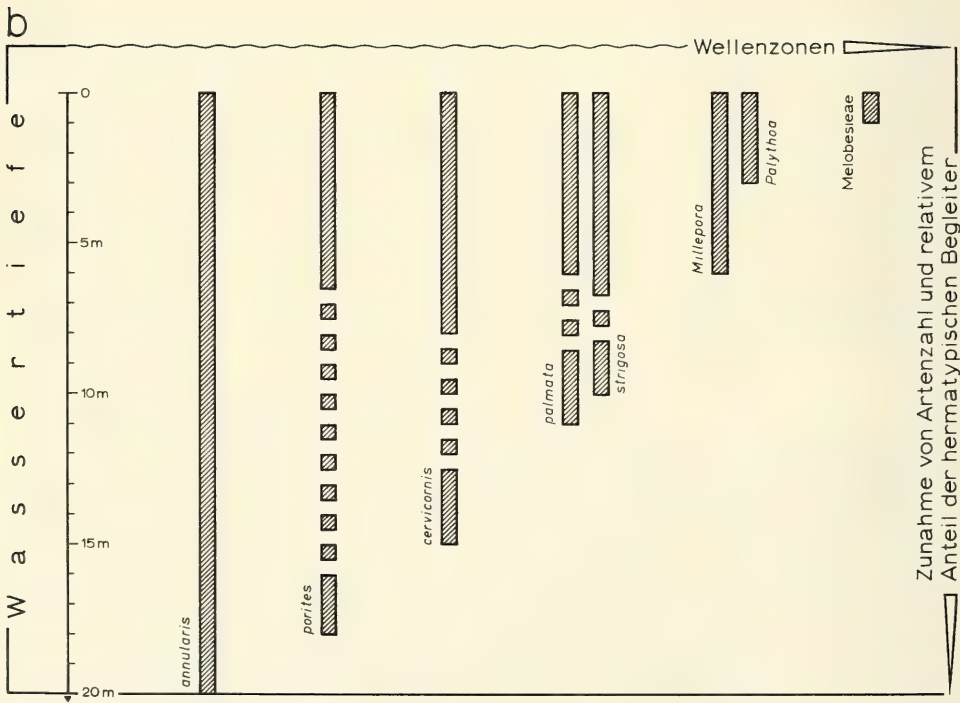
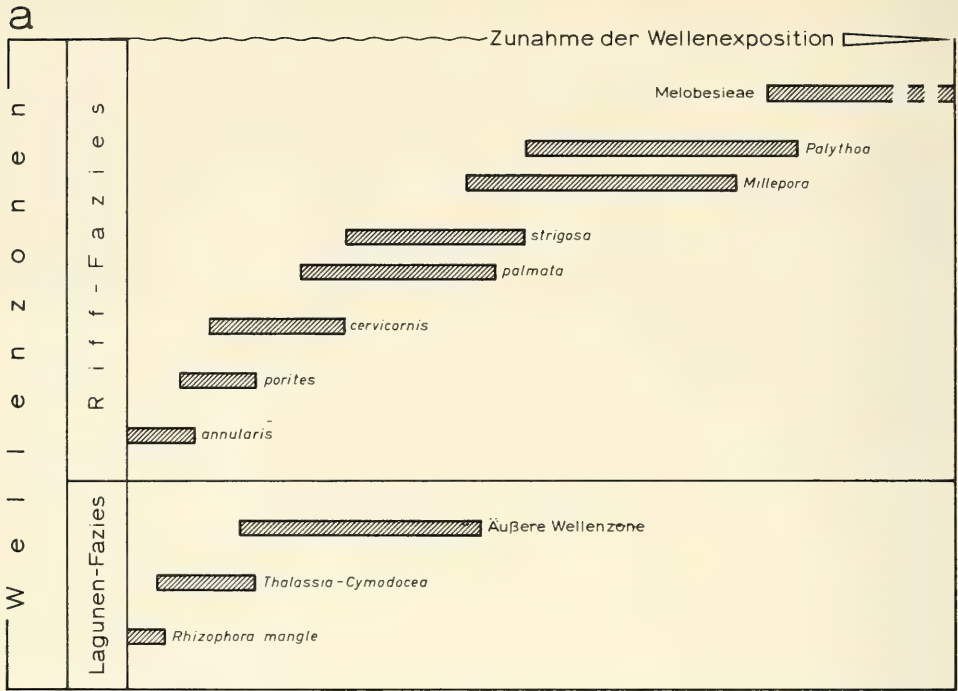
Brandungsriff-Typ ist um San Andrés lediglich am „Top Blowing Rock“, außerdem noch am NW-Ende des Wallriffes von Providencia gut ausgebildet (GEISTER, in Vorber.).

Abhängigkeit der Wellenzonen von der Wellenexposition

In Abb. 21 wurde die relative Abhängigkeit der Wellenzonen von der Wellenexposition qualitativ dargestellt, wie sie sich aus einer großen Zahl von Unterwasseruntersuchungen in den Riffen von San Andrés und Providencia ergibt. Hieraus ist ersichtlich, daß sich die Wellenzonen mehr oder weniger stark überlappen. Das heißt, bei bestimmter Wellenexposition können sich benachbarte Wellenzonen an einem Riff teilweise vertreten bzw. gemeinsam vorkommen. So treten *Acropora palmata* und *Diploria strigosa* innerhalb des Riffes meist in starker Vermischung auf und lassen sich deshalb als Wellenzonen nicht scharf gegeneinander abgrenzen. Dennoch ist vielfach zu erkennen, daß im stärkeren Brandungsbereich meist Kolonien von *Diploria strigosa* und im schwächeren solche von *Acropora palmata* überwiegen. Entsprechendes gilt für *Palythoa* und *Millepora* (Abb. 21a).

Bei den Geländeuntersuchungen um San Andrés und Providencia hat sich gezeigt, daß sämtliche Brandungszonen wenigstens bis in den Bereich des Springniedrigwassers reichen können. Jedoch liegt der Riffkamm mit Ausnahme der Melobesiaae-Brandungszone in vielen Fällen beträchtlich tiefer. Räumlich benachbarte Riffe deutlich verschiedener Tiefenlage, auf welche die gleichen Wellen auflaufen, zeigen im Bereich des Riffkammes eine unterschiedliche Wellenexposition und gehören deshalb verschiedenen Brandungsriff-Typen an. Beispiele hierfür bilden manche unterschiedlich aufgebauten Fleckenriffe im selben Lagunensektor. Gleichnamige Wellenzonen liegen jedoch auch in diesen besonderen Fällen etwa in der gleichen Wassertiefe. Verschiedene Brandungsriff-Typen, deren beider Riffkamm in derselben Wassertiefe liegt, besitzen dagegen eine unterschiedliche Tiefenverbreitung ihrer Wellenzonen. Es zeigt sich also, daß gleichnamige Wellenzonen bei verschiedenen Brandungsriff-Typen in unterschiedlichen Wassertiefen auftreten können. Während sämtliche dieser Zonen im Riffkamm bis in den Bereich des Niedrigwasserspiegels reichen können, hat jede eine bestimmte Untergrenze der Verbreitung. Diese liegt allerdings weit oberhalb der unteren Verbreitungsgrenze der namengebenden Korallen. Vereinzelte Kolonien kommen als Zonenbegleiter in Wellenzonen eines niedrigeren Energieniveaus auch noch tiefer vor. Wellenzonen starker Wellenexposition zeigen die geringste Tiefenreichweite, diejenigen geringerer Wellenexposition in abnehmender Folge eine größere bathymetrische Reichweite. Naturgemäß wird die maximale Tiefenreichweite nur von den vorderen Wellenzonen erreicht.

In welcher Tiefenlage eine bestimmte Zone in einem bestimmten Riff angetroffen werden kann, hängt in erster Linie von der vorliegenden Wellenexposition ab. Bei stark exponierten Riffen sind die vorderen Wellenzonen weit in die Tiefe gerückt, bei schwach exponierten Riffen liegen sie dagegen verhältnismäßig flach. So nimmt beispielsweise die *annularis*-Wellenzone beim *annularis*-Brandungsriff den gesamten Riffkamm ein, beim *strigosa-palmata*-Brandungsriff liegt die vordere *annularis*-Wellenzone in 5 und mehr Meter Tiefe; beim *Palythoa-Millepora*-Brandungsriff schließlich wird die genannte Wellenzone bis in 18–20 m Tiefe verdrängt und bildet dann dort den Übergang zum Tiefwasser-Riffbereich. Die *Palythoa-Millepora*-Brandungszone reicht jedoch auch beim Extremfall des Melobesiaae-Brandungsriffs kaum tiefer als 6 m. *Acropora palmata* wurde als Wellenzone nie tiefer als bis etwa 11 m angetroffen.



Die Wellenzonen des Außenriffes werden in den Bereichen, welche der langwelligen, ozeanischen Dünung ausgesetzt sind, sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung viel weiter auseinandergezogen als etwa bei vergleichbaren Riffen in der Lagune. Dies liegt offenbar an der viel tiefer reichenden Wirkung langperiodischer Wellen der Dünung im Gegensatz zu den kurzperiodischen Windwellen, welche das Wasser nur bis in geringe Tiefen durchbewegen.

Diese Beobachtungen zeigen, daß die Wellenzonen um so weiter in die Tiefe rücken, je stärker das jeweilige Riff der Brandung ausgesetzt ist. Außerdem zeigt sich ganz allgemein eine Zunahme des Anteils der hermatypischen Begleiter sowohl in qualitativer als auch in quantitativer Hinsicht mit zunehmender Wassertiefe. Die beobachtete Tiefenreichweite der einzelnen Zonen, wie sie sich nach den Beobachtungen um San Andrés und Providencia ergibt, ist in Abb. 21b wiedergegeben.

4.3.3. Abrasions-Wellenzonen

Durch gelegentliche, meist nur unter Sturmbedingungen auftretende Abrasionswirkung ergibt sich im Riffbereich die schon beschriebene, auffallende Selektion der riffbildenden Organismen nach der Wuchsform. Bei leichter Abrasion bleibt die Zonenfolge der massigen bis inkrustierenden Kolonien erhalten oder zumindest erkennbar. Es zeigt sich allerdings eine gewisse Verarmung der Begleitfauna. Vor allem treten verzweigte Formen zurück oder fehlen ganz. Bei zunehmendem Abrasionsgrad kommen die namengebenden Organismen der Wellenzonen immer weniger vor. Dagegen finden sich in stärkerem Maße bestimmte, meist hemisphärische oder inkrustierende Zonenbegleiter, darunter in erster Linie *Diploria clivosa*. Diese Koralle dominiert unter Bedingungen stärkerer Abrasion bei den verschiedensten Graden der Wellenexposition.

Auf diese Weise ergeben sich Übergänge von reinen Wellenzonen, welche nicht merklich durch Abrasion beeinflusst werden, zu Abrasions-Wellenzonen, die den unterschiedlichen Abrasionsgrad in der Faunenzusammensetzung widerspiegeln. Derartige Übergänge wurden vor allem auf der 4 m-Terrasse der Westküste von San Andrés untersucht. Dieser Bereich des Insularschelfes schien dafür besonders geeignet, da hier einerseits alle Übergänge der Wellenexposition von der *annularis*-Wellenzone bis zur *strigosa-palmata*-Wellenzone auftreten, und sich andererseits von der tieferliegenden Außenkante der Terrasse bis zu ihrem Innenrand eine zunehmende Abrasion ergibt, welche unmittelbar vor dem Kliff ihren Maximalwert erreicht. Aus der Überschneidung der noch teilweise erkenntlichen Wellenzonenfolge mit den senkrecht zum Küstenkliff wachsenden Abrasionsintensitäten wurde das vorliegende Schema der Abrasions-Wellenzonen hergeleitet (Tab. 4). Es wird ersichtlich, daß die Riff-Fazies mit zunehmender Abrasion fließend in Hartgrund übergeht. Aus diesem Grunde lassen sich auch die Grenzen der hier aufgestellten Zonen nicht scharf fassen.

Abb. 21. a. Auftreten der Wellenzonen in Abhängigkeit von der Wellenexposition.

b. Die in den Riffen von San Andrés und Providencia beobachtete bathymetrische Reichweite der Wellenzonen. Unterbrochene Säulenabschnitte zeigen Beobachtungslücken an.

a. Occurrence of wave zones in relation to wave exposure.

b. The bathymetric range of wave zones as observed in the reefs of San Andrés and Providencia. Broken columns indicate gaps in observation.

				zunehmende Wellenexposition					
Abrasion ↓	keine	Riff-Fazies	Wellenzonen	annularis	porites	cervicornis	strigosa-palmata	Palythoa-Millepora	Melobesieae
	schwache				astreoides-clivosa				
	mittlere	Hartgrund-Fazies	Abrasions-Wellenzonen	siderea-clivosa			palmata-clivosa	Palythoa-clivosa	?
	starke			Innere Abrasions-Wellenzone (= Wellenzonen-Lücke)					

Tab. 4. Einfluß von jahreszeitlich bedingter Abrasion verschiedener Intensität auf die Ausbildung der Wellenzonen und die Entstehung von Abrasions-Wellenzonen.

Influence of the degree of seasonal abrasion on the wave zonation pattern and development of abrasional wave zones.

Schwache Abrasion (Riff-Fazies)

annularis-Abrasions-Wellenzone

Sie unterscheidet sich von der *annularis*-Wellenzone lediglich durch das weitgehende bis vollständige Fehlen verzweigter Formen wie *Porites porites*, *Madracis mirabilis*, *Eusmilia fastigiata* und *Acropora cervicornis*. Oktokorallen, vor allem *Plexaura*, können hier häufig auftreten.

astreoides-clivosa-Abrasions-Wellenzone

Bei leichten Abrasionsbedingungen, wie sie durch gelegentlich starke Brandung auftreten, hat weder die *porites*- noch die *cervicornis*-Wellenzone Bestand. Diese Wellenzonen werden daher vollständig durch andere Korallen vertreten. Die *astreoides-clivosa*-Wellenzone wird von massigen bis inkrustierenden Kolonien von *Porites astreoides* und *Diploria clivosa* besiedelt. Hinzu treten *Dendrogyra cylindrus*, *Diploria labyrinthiformis*, *Dichocoenia stokesii* und andere Scleractinier. Daneben siedeln auffallend viele Oktokorallen, vor allem *Gorgonia* und *Plexaura*.

Die Korallenassoziation *Porites astreoides* und *Diploria clivosa* scheint nicht sehr an die Wellenexposition gebunden zu sein. Sie vertritt in gewissen Riffabschnitten von San Andrés die *strigosa-palmata*-Wellenzone in ähnlicher Ausbildung (Taf. 3, Fig. a; Taf. 4, Fig. d). Dort kommt jedoch ein mehr oder weniger ausgeprägter, auffallender Wuchs von *Millepora complanata* hinzu (Taf. 3, Fig. a; Taf. 4, Fig. a). *Dendrogyra* fehlt dagegen, und auch *Plexaura* ist hier weniger vertreten.

strigosa-palmata-, *Palythoa-Millepora*- und *Melobesia*-Abrasions-Wellenzone

Diese zeigen, verglichen mit den eigentlichen gleichnamigen Wellenzonen, bei leichter Abrasion keine auffallenden Veränderungen. Allerdings fehlen auch hier die verzweigten scleractinen Zonenbegleiter. Stellenweise zeigen sich Abrasionsspuren. Diese Zonen werden deshalb zu den entsprechenden Wellenzonen gestellt.

Mittlere Abrasion (Hartgrund)

Bei stärkerer Abrasion geht die Riff-Fazies fließend in den Hartgrund über. Es bilden sich dann folgende Abrasions-Wellenzonen aus:

siderea-clivosa-Abrasions-Wellenzone

Sie entspricht der Wellenexposition von *annularis*-, *porites*- und *cervicornis*-Wellenzone und zeigt eine auffallend dünne Besiedlung vorwiegend durch inkrustierende und hemisphärische Scleractinier. In den mittleren und weniger abrasionsbetonten Bereichen der Zone wurde in erster Linie *Siderastrea siderea*, außerdem *Dendrogyra cylindrus*, *Diploria labyrinthiformis*, *D. strigosa*, *Porites astreoides*, *Dichocoenia stokesii*, *Montastrea annularis* und *Montastrea cavernosa* festgestellt. In Gebieten stärkerer Abrasion, vor allem im Übergangsgebiet zur Inneren Abrasions-Wellenzone, treten die meisten der genannten Arten zurück. Hier dominieren vor allem fladenförmige, dünne Überkrustungen von *Diploria clivosa*. Die Zone wird ferner charakterisiert durch einen vergleichsweise starken Wuchs von Oktokorallen, vor allem der Seepeitsche *Plexaura* (Taf. 10, Fig. a u. b).

Infolge der dünnen Besiedlung durch Scleractinier wird diese Abrasions-Wellenzone nicht mehr zur Riff-Fazies, sondern bereits zum Hartgrund gezählt. Sie umfaßt den größeren Teil des Mittelabschnittes der gesamten 4 m-Terrasse vor der Westküste der Insel und erreicht hier vielfach mehr als 100 Meter Breite. Weiterhin muß der größte Teil der Hartgrundflächen auf dem Lagunenboden vor „San Luis“ zur *siderea-clivosa*-Abrasions-Wellenzone gestellt werden.

palmata-clivosa-Abrasions-Wellenzone

Hier wird das Substrat lückenhaft von den niederen Kolonien von *Acropora palmata* mit breiter, inkrustierender Basis sowie von *Diploria clivosa* besiedelt. Nicht selten zeigen die *palmata*-Kolonien ausschließlich krustenförmige Ausbildung (Taf. 10, Fig. c). Daneben finden sich auch Milleporen mit breiter, inkrustierender Basis sowie vereinzelte Kolonien von *Diploria strigosa* und *Porites astreoides*. Oktokorallen beschränken sich auf stellenweise häufig auftretende Kolonien von *Gorgonia*. Die *palmata-clivosa*-Abrasions-Wellenzone tritt nahe dem Innenrand der 4 m-Terrasse an solchen Stellen auf, wo durch Refraktionserscheinungen die einlaufende, minimale Dünung so sehr verstärkt wird, daß auch an der windgeschützten Westküste der Insel eine leichte Brandung entsteht (vgl. Abb. 6). Auch der Hartgrund in der Umgebung der „Blowing Rocks“ ist hier z. T. einzuordnen.

Palythoa-clivosa-Abrasions-Wellenzone

Sie entspricht hydrodynamisch der *Palythoa-Millepora*-Wellenzone. *Diploria clivosa* und *Palythoa* sp. zeigen einen unzusammenhängenden Wuchs. *Diploria clivosa* bildet ungewöhnlich große, dünnfladige Kolonien von gelegentlich mehr als 2 m

Durchmesser. *Millepora* tritt meist stärker zurück und zeigt inkrustierende Wuchsformen. Oktokorallen fehlen weitgehend bis auf einzelne Kolonien der Fächerkoralle *Gorgonia*. Diese Zone wurde am Vorriff-Abhang der „Blowing Rocks“ angetroffen.

Melobesiaae-Abrasions-Wellenzone(?)

Wahrscheinlich bilden die inkrustierenden, roten Kalkalgen auch unter mittleren Abrasionsbedingungen einen Kalkalgenwall. Die Melobesiaae-Wellenzone wäre demnach, verglichen mit anderen Wellenzonen, am unempfindlichsten gegenüber Abrasion. Als Beispiel für eine deutlich abrasionsüberprägte Melobesiaae-Wellenzone könnte man um San Andrés den „Bottom Blowing Rock“ nennen. Dieser hat allerdings noch nicht den Springniedrigwasserspiegel und deshalb auch nicht das Stadium eines echten Kalkalgenwalles erreicht.

Starke Abrasion (Hartgrund)

Innere Abrasions-Wellenzone(?)

Hydrodynamisch umfaßt sie den Bereich sämtlicher Wellenzonen und entspricht den Bereichen im Rifffkomplex, in denen die stärkste Abrasion auftritt. Sie bleibt praktisch frei von jeder permanenten Besiedlung. Ausnahmen bilden vereinzelte Kolonien von *Diploria clivosa*, welche in relativ geschützter Position innerhalb der Zone auftreten können. Besonders nach Nordstürmen zur Winterszeit finden sich hier Spuren starker Abrasion. Die Innere Abrasions-Wellenzone ist als Abrasionsplattform am Innenrand der 4 m-Terrasse unmittelbar vor dem Küstenkliff entwickelt und kann hier wenige Meter bis etwa 20 m Breite erreichen (Taf. 10, Fig. d).

4.3.4. Strömungszonen

Durch die gelegentlich in örtlich unterschiedlicher Intensität auftretenden starken Veränderungen der physikalischen Parameter bestimmter Wasserströmungen der flachen Lagune ergibt sich in manchen Fleckenriffen eine auffallende Artenverarmung der Korallenfaunen. Sie ist sehr ausgeprägt in Lagunenbereichen mit Tendenz zur Stagnation, d. h. sehr langsam fließendem Wasser. Da hier die Wellenbewegung normalerweise minimal ist, treten derartige Erscheinungen bevorzugt in *annularis*-Brandungsriffen auf. Es besteht also prinzipiell die Möglichkeit, in derartigen Lagunenabschnitten Strömungszonen entsprechend dem Grad der Faunenverarmung aufzustellen. Diese wären als Subzonen der *annularis*-Wellenzone aufzufassen. Auch das stark unterdrückte Korallenwachstum im Bereich von „Broken Ground“ und die dort zu beobachtende auffallende Artenverarmung muß wohl auf die langsame Küstenlängsströmung zurückgeführt werden, welche von N aus der Bucht von „San Luis“ kommend, diesen Riffabschnitt überquert.

4.3.5. Wellenzonen-Lücken und Zonenvertretung Wellenzonen-Lücken

Oft kann man beobachten, daß die Zonenfolge in den verschiedenen Brandungsriff-Typen sehr lückenhaft ausgebildet ist. Deshalb sind nur in verhältnismäßig wenig Fällen die Riffe so vollständig entwickelt, wie die schematische Darstellung in Abb. 20 zeigt. Fehlen Wellenzonen in einem Riff, so wird hier von einer Wellenzonen-Lücke gesprochen.

Der am häufigsten festgestellte Fall ist das Fehlen der tiefsten Wellenzonen eines Riffes. Das läßt sich jedoch in den meisten Fällen mit einem Fazieswechsel hinreichend

erklären. So fehlt beim *porites*-Brandungsriff vielfach die *annularis*-Wellenzone, da am Fuße des Vorriff-Abhanges unmittelbar der Sand der Lagune beginnt (Taf. 6, Fig. d). Hier schließt in der Regel die *Thalassia-Cymodocea*-Wellenzone der Lagunen-Fazies an, deren Wellenbereich sich mit dem der *annularis*-Wellenzone weitgehend überlappt (Abb. 21a). Ferner ist am Innenrand mancher Wallriffabschnitte eine kleine Stufe ausgebildet, hinter der sich Lockermaterial aus dem Riff ansammelt, welches als Substrat für Riffwuchs nicht geeignet erscheint. So endet das Wallriff vielfach in derartigen Fällen auf der Innenseite schon mit der *Palythoa-Millepora*-Brandungszone. Daran schließt sich unmittelbar die „Äußere Wellenzone“ der Lagunen-Fazies an, welche zwar ein hydrodynamisches, aber kein fazielles Äquivalent der oben genannten Brandungszone darstellt. Gelegentlich greift die Riff-Fazies in Form von Korallenflecken in die Lagune über. Die rückwärtigen Bereiche von solchen Riffen scheinen aufgelöst, und die Zonenfolge ist bestenfalls fragmentarisch. Von den wichtigsten wellenzonenbildenden Korallen können sich *Acropora palmata*, *A. cervicornis*, *Porites porites* und *Montastrea annularis* in mehr oder weniger beschränktem Maße auf Lockersubstrat im Übergangsbereich zur Lagune behaupten.

Am häufigsten kann man beobachten, daß die *cervicornis*- oder die *porites*-Wellenzone und z. T. auch beide innerhalb des Riffes nur unvollständig oder auch gar nicht ausgebildet sind. Oft sind sie auch zertrümmert und abgestorben. In solchen Fällen ist ihre Zerstörung oft durch Sturmeinwirkung erklärbar. Verzweigte Korallen zeigen jedoch ein verhältnismäßig schnelles Wachstum und können in wenigen Jahren die Lücke ausfüllen, wenn sie erst wieder Fuß gefaßt haben. Sie sind jedoch auch in besonderem Maße durch die extreme, in Abständen von einigen Jahren eintretende Welleneinwirkung bei tropischen Stürmen gefährdet und werden dann z. T. vollständig zerstört. In besonders den Sturmwellen exponierten Riffabschnitten wird das Zonenintervall von *Porites porites* und *Acropora cervicornis* von einer in Bezug auf Wellenexposition wenig spezialisierten Korallenfauna von *Porites astreoides* und *Diploria clivosa* u. a. besiedelt („*astreoides-clivosa*-Fauna“). Mit derartig extremer Welleneinwirkung lassen sich sowohl die Zerstörungen in der hinteren *cervicornis*-Wellenzone von „Half-a-Reef“ (Taf. 6, fig. a u. b) und in der vorderen *porites*-Wellenzone von „Little Reef“ als auch die Zertrümmerung der *cervicornis*-Brandungszone am Westende von „Little Reef“ am ehesten erklären. Die auffallenden vorderen Wellenzonen-Lücken des Wallriffes scheinen auf Abrasionsvorgängen zu beruhen, so daß sie auch als Vertretung bestimmter Wellenzonen durch Abrasions-Wellenzonen gedeutet werden können (vgl. S. 119).

Oft fehlt auch die eine oder andere Wellenzone, ohne daß ein Grund hierfür ersichtlich ist. I. d. R. schließen dann die benachbarten Wellenzonen die Lücke, da die Reichweiten der von ihnen tolerierten Wellenexposition sich überlappen (vgl. Abb. 21a).

Zonenvertretung

Fällt der Meeresboden im Rückriff mit deutlicher Neigung zur Lagune hin ab, dann werden die Korallen der hinteren Wellenzonen in einem verhältnismäßig schmalen Streifen zusammengedrängt. Infolge der hier steilen Gradienten der Wellenexposition ist dann keine eindeutige Zonierung mehr erkennbar, da die Korallen eine einzige „Mischzone“ bilden (Tab. 5). Sie entspricht der von GOREAU (1959, 73–74) in Jamaika festgestellten R ü c k z o n e („rear zone“).

Wenn die Riffoberfläche an einer Stelle um mehr als 1 m mit einem Neigungswinkel von annähernd 90° einfällt, dann sind normalerweise die *annularis*-, *porites*-,

		zunehmende Wellenexposition →					
Vergrößerung des Neigungswinkels ↓	Wellenzonen in Normalausbildung	<i>annularis</i>	<i>porites</i>	<i>cervicornis</i>	<i>strigosa-palmata</i>	<i>Palythoa-Millepora</i>	Melobesteeae
	Wellenzonen-Drängung bei starkem Gefälle zur Lagune	Mischzone („Rückzone“)					
	Wellenzonen-Vertretung an senkrechten Wänden	<i>agaricites</i>					

Tab. 5. Einfluß des Neigungswinkels des Substrates auf die Wellenzonen-Folge: Ein merklicher Abfall des Rückriffbereiches gegen die Lagune bewirkt zunächst eine Drängung und bei stärkerem Neigungswinkel schließlich eine Vermischung der Wellenzonen. Ursache hierfür sind offensichtlich die steilen Gradienten der Wellenexposition im Rückriffbereich, welche die Bildung polyspezifischer „Rückzonen“ zur Folge haben. An sehr steilen bis senkrechten Abbrüchen können bestimmte Wellenzonen teilweise oder vollständig von einem dichten Wuchs von *Agaricia agaricites* var. *agaricites* oder von *Palythoa* und *Millepora* vertreten werden.

The influence of slope inclination on zonation pattern: A slight backward inclination of substratum behind reef crest or flat usually causes crowding or mixing of wave zones. This is evidently due to steep gradients of wave exposure which create polyspecific „rear zones“. Along very steep or vertical drop-offs within the reef certain wave zones may be replaced completely or in part by dense growths of *Agaricia agaricites* var. *agaricites* or by *Palythoa* and *Millepora*.

cervicornis- und *strigosa-palmata*-Wellenzone nicht ausgebildet. Ein dichter Wuchs von *Millepora alcicornis* und *Palythoa* sp. greift hier von der *Palythoa-Millepora*-Wellenzone zumindest auf einen Teil der *strigosa-palmata*-Wellenzone über. Alle übrigen Wellenzonen niedrigeren Energieniveaus werden durch ein dichtes Gitterwerk von *Agaricia agaricites* var. *agaricites* vertreten. Dies läßt sich besonders schön an der Innenkante des Wallriffes sowie an den Lagunenriffen von „Great Corn Island“/ Nikaragua (etwa 150 km WSW von San Andrés) beobachten, wo in großem Umfang eine ausgeprägte *agaricites*-Wellenzone in Form von breiten, balkonartigen Überhängen ausgebildet ist. Auch im Tiefwasser-Riffbereich werden an besonders steilen Abhängen die massigen Korallenkolonien vielfach durch einen dichten, dachziegelartigen Wuchs von *Agaricia* sp. vertreten.

Eine Auflösung der Parallelzonierung und Störung der Zonenfolge kann durch eine unregelmäßige submarine Topographie verursacht werden. Sind im Riff beispielsweise größere, wannenartige Vertiefungen ausgespart, dann siedeln hier vielfach im Schutze der höher aufragenden Umgebung Korallen einer ruhigeren Wellenzone. Im Bereich des Wallriffes von San Andrés sind aus diesem Grunde inmitten der *Palythoa-Millepora*-Brandungszone einige größere Flecken der *strigosa-palmata*-Wellenzone anzutreffen.

Eine Verwischung mancher Zonengrenzen wird schon allein durch die Tatsache erleichtert, daß die zonenbildenden Korallenarten sehr unterschiedliche Größe erreichen. Auf diese Weise können kleinwüchsige Korallen mit großwüchsigen Formen

vergesellschaftet sein, die an eine wesentlich stärkere Wellenexposition angepaßt sind, da erstere dann in deren Wellenschatten leben. So ist es nicht verwunderlich, daß im Bereich locker stehender *palmata*-Hecken örtlich ein reicher Wuchs von *Porites porites* auftreten kann.

Oft findet sich in der *Palythoa-Millepora*-Brandungszone von San Andrés eine auffallende Vergesellschaftung von *Millepora alcicornis* mit *Porites porites*, was im Gegensatz zu den hier vertretenen Zonierungsprinzipien zu stehen scheint. Die einzelnen *porites*-Zweige sind dann in den Maschen des *Millepora*-Gitterwerkes eingeschlossen, auf diese Weise fest verankert und ragen nur mit den belebten Teilen der Kolonie in die Brandung. Diese Faunen-Vergesellschaftung scheint zu beweisen, daß *P. porites*, obwohl mechanisch aus schon erwähnten Gründen keiner starken Brandung gewachsen, rein physiologisch im brandungsintensiven Bereich existieren kann, vorausgesetzt, daß seine Zweige sicher verankert sind. Eine sehr ähnliche Assoziation zwischen *P. porites* und *Agaricia agaricites* ist in den Riffen der Rosario-Inseln an der kolumbianischen Küste sowohl rezent als auch subrezent weit verbreitet.

Die vorderen Wellenzonen-Lücken, welche im Bereich des Wallriffes von San Andrés zur Ausbildung gekommen sind, zeigen nur eine sehr unzusammenhängende Korallenbesiedlung. Die in diesem Riffstreifen lebenden Rifforganismen, wie *Diploria clivosa*, krustenförmige Milleporen und andere inkrustierende Formen sowie verschiedene Gorgonien, sind alle stark abrasionsangepaßt. Man kann daher schließen, daß die Bildung dieser Zonenlücke mit Abrasionsvorgängen bei starkem Sturm und einem durch die größere Tiefe von 10–20 m abgeschwächten Korallenwuchs zusammenhängt. Wesentlich für die Abrasion scheint die stark pendelnde Wasserströmung zu sein, welche beim Einlaufen der ozeanischen Dünung auf der Vorriff-Terrasse zu beobachten ist. Damit handelt es sich bei den vorderen Wellenzonen-Lücken offenbar um verschiedene Abrasions-Wellenzonen, die hier vor allem die *cervicornis*- und *porites*-Wellenzone vertreten. Auf diese Weise wird die Riff-Fazies in diesem Riffabschnitt durch Hartgrund-Fazies ersetzt. In der beigegebenen Karte auf Abb. 23 wurden die vorderen Wellenzonen-Lücken wegen ihrer großen Breite als Hartgrund gesondert vom übrigen Riff ausgeschieden, obwohl sie einen Teil des *Palythoa-Millepora*- bzw. *Melobesia*-Brandungsriffes bilden. (Vgl. hierzu auch S. 117.)

Der Riffkamm kann bei allen 6 Brandungsriff-Typen den Springniedrigwasserspiegel erreichen und dann absterben. In diesem Fall wird die Brandungszone ganz oder teilweise von relativ unempfindlichen Korallen, von Zoanthiden bzw. von Algen besiedelt. Sie entspricht dann dem von GOREAU (1959, 74) aus Jamaika beschriebenen „reef flat“. Dieser Fall stellt eine weitere Wellenzonen-Vertretung dar.

Gelegentlich ist die eine oder andere Wellenzone ohne erkennbare Ursache nicht ausgebildet. Auch in diesem Fall kann der Zwischenraum von der in Bezug auf Wellenexposition wenig angepaßten „*clivosa-astreoides*-Fauna“ besiedelt werden. Dies wurde besonders auf dem Kamm von *strigosa-palmata*-Brandungsriffen dort festgestellt, wo *palmata*-Hecken fehlen. Zum Teil scheint es daran zu liegen, daß der Riffkamm für eine Besiedlung durch *Acropora palmata* bereits zu nahe am Springniedrigwasser liegt. Durch die „*clivosa-astreoides*-Fauna“ ergibt sich örtlich eine echte Zonenvertretung innerhalb der *annularis*-, *porites*-, *cervicornis*-, *strigosa-palmata*- und gelegentlich auch *Palythoa-Millepora*-Wellenzone. Diese Vertretung kann im Bereich der *porites*- und *cervicornis*-Wellenzone ein Hinweis auf gelegentliche leichte Abrasion durch Sturmwellen sein.

Durch Weideselektion von Riff-Fischen könnte in manchen Riffabschnitten eine Artenverarmung eintreten, die sich aber wohl kaum in einer Zonenbildung ausdrücken dürfte. Nähere Untersuchungen hierzu stehen noch aus.

4.4. Untergliederung der Lagunen-Fazies

4.4.1. Tiefenbereiche und Tiefenzonen

In der Lagunen-Fazies lassen sich — ähnlich wie auch in der Riff-Fazies — nach bathymetrisch-ökologischen Gesichtspunkten 2 Tiefenbereiche gegeneinander abgrenzen, welche hier Flachwasser-Sandbereich und Tiefwasser-Sandbereich genannt werden.

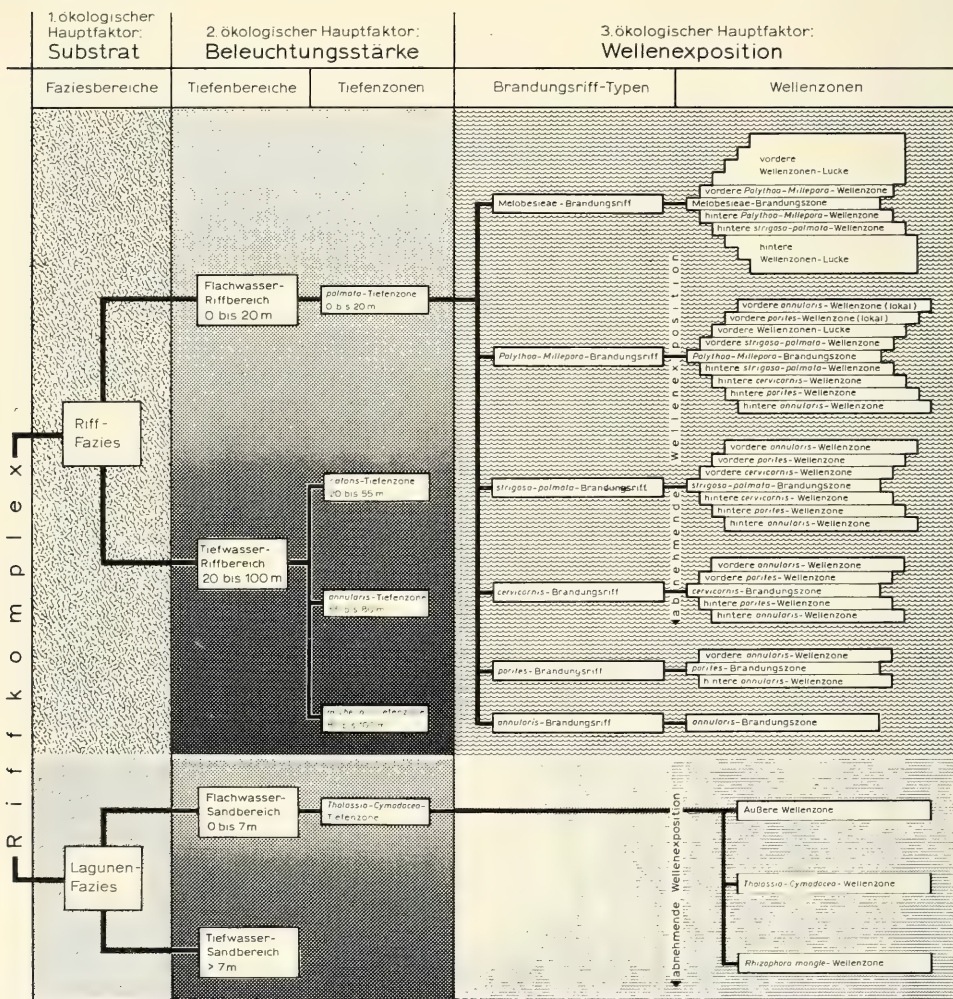


Abb. 22. Schema einer faziell-ökologischen Gliederung westkaribischer Riffkomplexe, welches auf den 3 ökologischen Hauptfaktoren der Benthosverteilung beruht: Substrat, Beleuchtungsstärke, Wellenexposition.

Zonation scheme of western Caribbean reef complexes based on the three primary factors of benthic organism distribution: substrate, light intensity, wave exposure.

Weite Bereiche der Lagunen-Fazies können bei günstigen Bedingungen von einer mehr oder weniger zusammenhängenden Pflanzendecke bewachsen sein. Diese wird vorwiegend von einem dichten Rasen der Seegräser *Thalassia testudinum* und *Cymodocea manatorum* gebildet, welche in auffallender Abhängigkeit von einer ausreichenden Beleuchtung stehen und deshalb nur im Bereich des flacheren Wassers vorkommen können (Taf. 6, Fig. d). Unterhalb von 8 m Tiefe dünnt der Rasen sehr schnell aus und fehlt in spätestens 10 m Tiefe vollständig (Taf. 6, Fig. c). Dieser Tiefenbereich, der vom Niedrigwasserspiegel bis zur unteren Verbreitungsgrenze von dichtem Seegrasrasen reicht, wird hier **Flachwasser-Sandbereich** genannt. Er endet um San Andrés in 7–8 m Tiefe. Seine Untergrenze dürfte in den stärker wellenexponierten Lagunenabschnitten etwa mit der Wellenbasis zusammenfallen. Nicht der gesamte Flachwasser-Sandbereich ist überall von Seegrasrasen bewachsen.

Der **Tiefwasser-Sandbereich** schließt sich unmittelbar an den Flachwasser-Sandbereich an. Er umfaßte um San Andrés im wesentlichen das tiefere Lagunenbecken ebenso wie die Sandflächen auf der 20 m-Terrasse vor der Westküste und auf der 40 m-Terrasse. Er liegt normalerweise unterhalb der Wellenbasis. Lediglich auf der 20 m-Terrasse kann das Sediment bei Sturm mit westlicher Komponente durch Wellen umgelagert werden.

Eine Untergliederung beider Tiefenbereiche in Tiefenzonen an Hand der bathymetrischen Verteilung von Mollusken und anderem Benthos erscheint möglich. Jedoch liegen bisher nicht genügend Untersuchungen vor, die die Aufstellung von derartigen Tiefenzonen gestatten würden.

4.4.2. Wellenzonen

Ähnlich wie im Falle der Riff-Fazies liegt der Flachwasserbereich der Lagune mehr oder weniger stark im Einflußbereich der Wellen. Da die Stärke der Wellenbewegung auf dem Boden der Lagune durch die Erscheinungen der Refraktion, Diffraktion, Interferenz, Bodenreibung und Wassertiefe lokal starke Unterschiede aufweist, ergibt sich analog zum Flachwasser-Riffbereich eine Untergliederungsmöglichkeit nach der vorherrschenden Wellenexposition, welche hier ebenfalls an der Benthosverteilung kenntlich ist (Abb. 21 a).

Rhizophora mangle-Wellenzone

Dort, wo im Bereich flachen Wassers nur eine minimale Wellenbewegung auftritt, setzt sich das feinste Lagunensediment ab. Diese Bereiche werden von einem Dickicht der Roten Mangrove *Rhizophora mangle* besiedelt und hier als *Rhizophora mangle*-Wellenzone ausgeschieden (Taf. 2, Fig. d). Diese Zone umfaßt definitionsgemäß nur den marinen Bereich und deshalb nicht diejenigen Areale, in denen die Rote Mangrove Süßwassersümpfe oder auch das feste Land besiedelt. Stets in Verbindung mit der *Rhizophora mangle*-Wellenzone fand sich um San Andrés eine charakteristische Begleitfauna von *Isognomon alatus* und *Littorina angulifera*. Die *Rhizophora mangle*-Wellenzone nimmt die geschütztesten Lagen an der Ostküste der Insel ein und ist ebenfalls am inneren Ende der Bucht von „Southwest Cove“ anzutreffen.

Thalassia-Cymodocea-Wellenzone

Dort, wo die Wellen normalerweise eine etwas stärkere Wasserbewegung auf dem Meeresboden erzeugen, finden sich ausgedehnte Rasen der Seegräser *Thalassia* und *Cymodocea*. An Stellen, an denen gelegentlich eine stärkere Erhitzung des Wassers

vorkommt, wie beispielsweise in „Haine Bight“, kann die temperaturempfindliche *Thalassia* weitgehend von Algen vertreten werden, welche an derartige Bedingungen besser angepaßt sind. Die *Thalassia-Cymodocea*-Wellenzone bildet den Lebensraum für eine Vielzahl von Invertebraten, vor allem Gastropoden und Echinodermen. Sie tritt in einem breiten Streifen entlang der Ostküste und Nordküste der Insel auf. Kleinere Vorkommen liegen im Wellenschatten von „Haine Cay“. Die *Thalassia-Cymodocea*-Wellenzone wird charakterisiert durch das Auftreffen relativ kurzer, induzierter Wellen, welche von der Brandung im Wallriff angeregt werden. Sie bildet weitgehend ein hydrodynamisches Äquivalent der *porites*-Wellenzone der Riff-Fazies (Abb. 21a; Taf. 6, Fig. d).

Äußere Wellenzone

Bei stärkerer Wellenexposition reißt der Seegrasrasen auf. Es bilden sich dann die erwähnten „Sandwannen“ (vgl. S. 66–68). Bei noch heftigerer Welleneinwirkung ist infolge der starken Umlagerung und Bewegung des Sandes überhaupt keine permanente Rasenbildung mehr möglich. Bereiche derartiger Sedimentumlagerung oder von starkem Sedimenttransport haben sich besonders charakteristisch hinter dem Wallriff auf der gesamten Lagunen-Terrasse sowie auch in einem Streifen an der Innenkante verschiedener Saumriffe ausgebildet. Diese Äußere Wellenzone umfaßt die Bereiche größter Wellenexposition im Bereich der Lagunen-Fazies. Wahrscheinlich ist ein kritischer Faktor für ihre Ausbildung die periodisch bei Sturm auftretende maximale Brandung.

Die Ausscheidung dieser 3 Wellenzonen hat den großen Vorteil, daß sie sich auf Luftbildern gut erkennen und deshalb auch leicht auskartieren lassen. Die *Rhizophora mangle*-Wellenzone bildet ein dichtes, auffallendes, mehr oder weniger zusammenhängendes Buschwerk, das sich sehr deutlich von der terrestrischen Flora abhebt. Die *Thalassia-Cymodocea*-Wellenzone erscheint als dunkle, unruhig gefleckte, zusammenhängende Fläche, während die Äußere Wellenzone als sehr helle Fläche von meist gleichmäßiger Tönung in Erscheinung tritt. Der Tiefwasser-Sandbereich, soweit überhaupt auf Luftbildern zu erkennen, ergibt dunkelgraue bis dunkle, etwa gleichmäßig getönte Flächen. Die Untergliederung hat den Nachteil, daß sie in fossilen Lagunen nicht oder nur indirekt an Hand der charakteristischen Invertebratenfauna oder möglicherweise an Sedimentstrukturen wieder erkannt werden kann.

4.4.3. Strömungszonen

Dort, wo die *Thalassia-Cymodocea*-Wellenzone zeitweilig von stark erhitzten, sauerstoffarmen bzw. brackischen Strömungen durchflossen wird, läßt sie sich zumindest in 3 Subzonen unterteilen, die sich bei zunehmender Stärke des Einwirkens dieser Faktoren auf die lagunäre Korallenfauna bilden:

1. Subzone mit *Manicina areolata* und *Siderastrea radians*
2. Subzone mit *Siderastrea radians*
3. Subzone ohne Korallenwuchs.

Die obengenannten Faktoren zeigen einen ähnlichen Einfluß auf die Zusammensetzung der Flora, besonders in Bezug auf das Auftreten oder Fehlen bestimmter Algen.

4.4.4. Wellenzonen-Lücken und Zonenvertretung

Dort, wo Riff-Fische den Seegrasrasen in einem breiten Streifen vor Korallenriffen abweiden, entsteht eine Lücke in der *Thalassia-Cymodocea*-Wellenzone, ohne daß diese durch anderes Benthos ersetzt wird.

Führt die Sedimentakkumulation im Bereich der *Thalassia-Cymodocea*-Wellenzone örtlich zu einer Erhöhung des Meeresbodens bis in die Nähe des Mittelniedrig-

wasserspiegels, dann kann die Seegrasflora hier trockenfallen und unter Sonneneinwirkung absterben. Vielfach wird der flachste Bereich solcher Sand- oder Schlamm-bänke von einer resistenteren Algenflora besiedelt. Diese vertritt dann hier die *Thalassia-Cymodocea*-Wellenzone.

4.5. Untergliederung des Hartgrundes

Der Hartgrund wird als dritter Faziesbereich in einem Riffkomplex im wesentlichen durch zeitweilige, mehr oder weniger heftige Abrasionsbedingungen bestimmt. Je nach dem Grad der Abrasion ergeben sich fließende Übergänge zwischen Riff-Fazies und Hartgrund. Die Ausbildung des Hartgrundes ist danach in erster Linie vom Grad der Wellenexposition und der Stärke der periodischen Abrasionswirkung abhängig und läßt sich auf dieser Grundlage in Abrasions-Wellenzonen untergliedern. Dies wurde bereits im einzelnen ausgeführt (vgl. S. 113–116).

5. Das Pleistozän (San Luis-Formation)

5.1. Morphologie, Petrographie und Tektonik

5.1.1. Morphologie: Terrassenbildungen, Kliffe und Hohlkehlen

Wie bei vielen anderen Kalksteininseln oder -küsten sind auch um und auf San Andrés auffallende pleistozäne Abrasionsterrassen, Hohlkehlen und Kliffe in verschiedenen Lagen sowohl unter- als auch oberhalb der heutigen Wasserlinie entwickelt, welche wohl in erster Linie auf die glazieustatischen Meeresspiegelschwankungen des Pleistozäns und damit verbundene Transgressionen zurückgeführt werden müssen. Es handelt sich bei den Terrassen ausschließlich um Erosionsformen; sie werden jedoch teilweise noch von marinen Kalken überlagert, die im Zusammenhang mit späteren Transgressionen sedimentiert worden sind. Die Höhenlagen der Terrassen von San Andrés lassen sich durchweg mit den klassischen pleistozänen Terrassen vergleichen, welche z. T. weltweit festgestellt wurden (vgl. WERTH 1953; GUILCHER 1969). Auch befinden sich mehrere der Terrassen von San Andrés in ganz ähnlichen Höhen- und Tiefenlagen wie jene auf den niederländischen Inseln unter dem Winde (DE BUISSONJÉ 1964) und in Kuba (IONIN 1967, 295–297). Wegen der noch mangelhaft bekannten tektonischen Vorgeschichte von San Andrés und den genannten westindischen Lokalitäten soll hier aus gleicher Höhenlage von Terrassen nicht auf die Gleichaltrigkeit ihrer Bildung geschlossen werden. Im folgenden werden die Terrassen in der Reihenfolge abnehmender Höhenlage beschrieben und ihre Beziehungen zu den Kliffen und Hohlkehlen erläutert.

Hochterrasse (80–95 m über NN)

Sie ist erhalten in Form von stark verwitterten Terrassenrelikten, welche heute allseitig von jüngeren Erosionsformen angeschnitten werden und die höchsten Erhebungen auf der Insel einnehmen. Am besten ist die Hochterrasse im Gipfelbereich von „Sam Wright Hill“ überliefert. Reliktartige Verebnungen im Bereich von „Cove Hill“ und von „May Mount“ (S „Mission Hill“) gehören wahrscheinlich zur selben Terrasse. Da die ursprünglichen Ober- und Unterkanten der Terrasse fehlen, lassen sich keine Aussagen über ihre frühere Ausdehnung und ihr einstmaliges Höhenintervall machen. Pleistozäne Terrassensedimente wurden nicht angetroffen.

Mittelterrassen (55–65 m und 25–30 m über NN)

Beide Terrassen wurden ebenfalls in die Tertiärkalke eingeschnitten und zeigen eine mäßige Oberflächenverwitterung. Sedimente aus der Zeit ihrer Bildung fehlen auch hier. Die Terrassen werden im Bereich von „May Cliff“ durch ein aus mehreren Stufen bestehendes, stark verwittertes Kliff voneinander getrennt (vgl. Abb. 24 b). Stellenweise wird dieses Kliff lediglich durch eine Terrassenversteilung angedeutet, wie sie sich durch eine Transgression bei langsam ansteigendem Meeresspiegel bilden kann. Im Bereich von „North Cliff“ ist eine einzige durchgehende Terrasse in einem Höhenbereich von 40–50 m vorhanden. Alle genannten Terrassen werden an ihrer Außenkante durch ein jüngerer Kliff angeschnitten und mögen deshalb noch beträchtlich tiefer als 25 m gereicht haben.

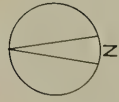
Jüngere Niederterrasse (0 (?)–14 m über NN)

Sie bildet heute im wesentlichen die meist über 500 m breite Inselplattform, welche den zentralen Höhenrücken der Insel allseitig umgibt (Taf. 2, Fig. a u. b). Die Terrasse hat sich in die darunterliegenden tertiären und pleistozänen Kalke eingeschnitten und wird fast vollständig von einer mehrere Meter mächtigen Lage von korallenführenden Kalken bedeckt. Nur in sehr begrenzten Bereichen tritt das unterlagernde Gestein in der Terrassenebene zutage. Die Terrasse endet am Steilanstieg des zentralen Höhenrückens in 8 m und maximal in etwa 14 m ü. NN.

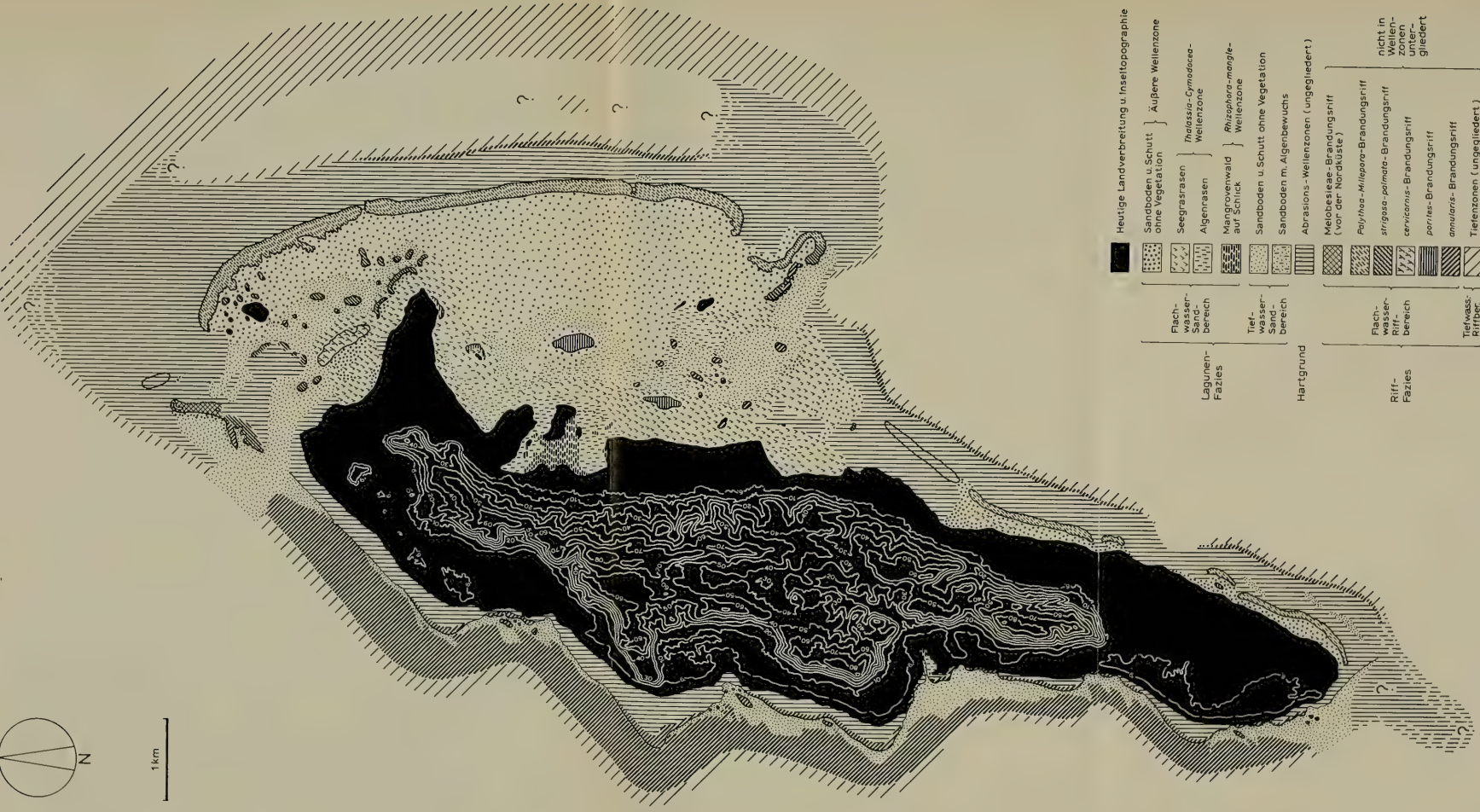
In „North Cliff“ und „May Cliff“ hat sich in etwa 14 m über dem heutigen Meeresspiegel jeweils eine tiefe Lösungshohlkehle vom wellengeschützten Typ (vgl. Abb. 16, Ca) in die tertiären Kalke der senkrechten Kliffwand etwa 2–3 m weit eingeschnitten. Sie ist rund 1,5 m weit, verengt sich nach innen bis auf etwa 0,5 m und kann an beiden Lokalitäten seitlich über mehrere 100 m verfolgt werden (Taf. 11, Fig. a u. b). Unterhalb der Hohlkehle setzt sich das Kliff in der senkrechten Verlängerung der überhängenden Kliffwand meist noch um 2–5 m bis zur Oberkante der Terrasse fort. Da das Kliff jedoch in diesem Abschnitt bereits aus pleistozänen Korallenkalken der Jüngeren Niederterrasse besteht, kann man wohl annehmen, daß seit Ablagerung der Terrassenkalke 2–5 m Gestein durch Regen und Humussäuren bei der Verwitterung von der Oberfläche abgelöst wurden. Dieser Teil der heutigen Kliffwand zeigt zahlreiche robuste Riffkorallen im Querschnitt (wie etwa *Diploria strigosa*, *D. clivosa* und auch *Acropora palmata*), die hier in der Mehrzahl der Fälle offensichtlich nicht *in situ* auftreten, sondern als Trümmer im Bereich der Hohlkehle abgelagert wurden. MILLIMAN & SUPKO (1968, 102) erwähnen dieses Gestein, interpretieren es als „peripheral reef facies“ und stellen es wie das übrige Kliff in Berufung auf BÜRGEL (1961) in das Miozän. Die Tertiärkalke des Kliffs sind jedoch an beiden Lokalitäten rein lagunärer Entstehung und so gut wie korallenfrei, wie man oberhalb der Hohlkehle einwandfrei erkennen kann. Über die Einordnung der Kalke des tieferen Kliffabschnittes unter der Hohlkehle in das Pleistozän kann kein Zweifel bestehen (vgl. Abb. 25).

Abb. 23. Fazies- und Benthosverteilung auf dem rezenten Insularschelf sowie Inseltopographie von San Andrés. Höhenlinien in Metern.

Distribution of facies and benthic organisms on the Recent insular shelf and island topography of San Andrés. Contour lines in meters.



1 km



Heutige Landverbreitung u. Inseltopographie

Sandboden u. Schutt ohne Vegetation } Äußere Wellenzone

Seegrassrasen } *Thalassia-Gymnodusa-* Wellenzone

Algergrasrasen } *Rhizophora-mangle-* Wellenzone

Mangrovenwald auf Schlick } *Rhizophora-mangle-* Wellenzone

Sandboden u. Schutt ohne Vegetation

Sandboden m. Algenbewuchs

Abrasions-Wellenzonen (ungegliedert)

Melobesiaee-Brandungsriff (vor der Nordküste)

Polyrhiza-Millepora-Brandungsriff

Strigosa-palmata-Brandungsriff

Cerithium-Brandungsriff

Paria-Brandungsriff

Anularia-Brandungsriff

Tiefenzone (ungegliedert)

nicht in Wellen- zonen unter- gliedert

Lagunen- Fazies

Flach- wasser- Sand- bereich

Tief- wasser- Sand- bereich

Hartgrund

Riff- Fazies

Flach- wasser- Riff- bereich

Tiefwass- Riffber

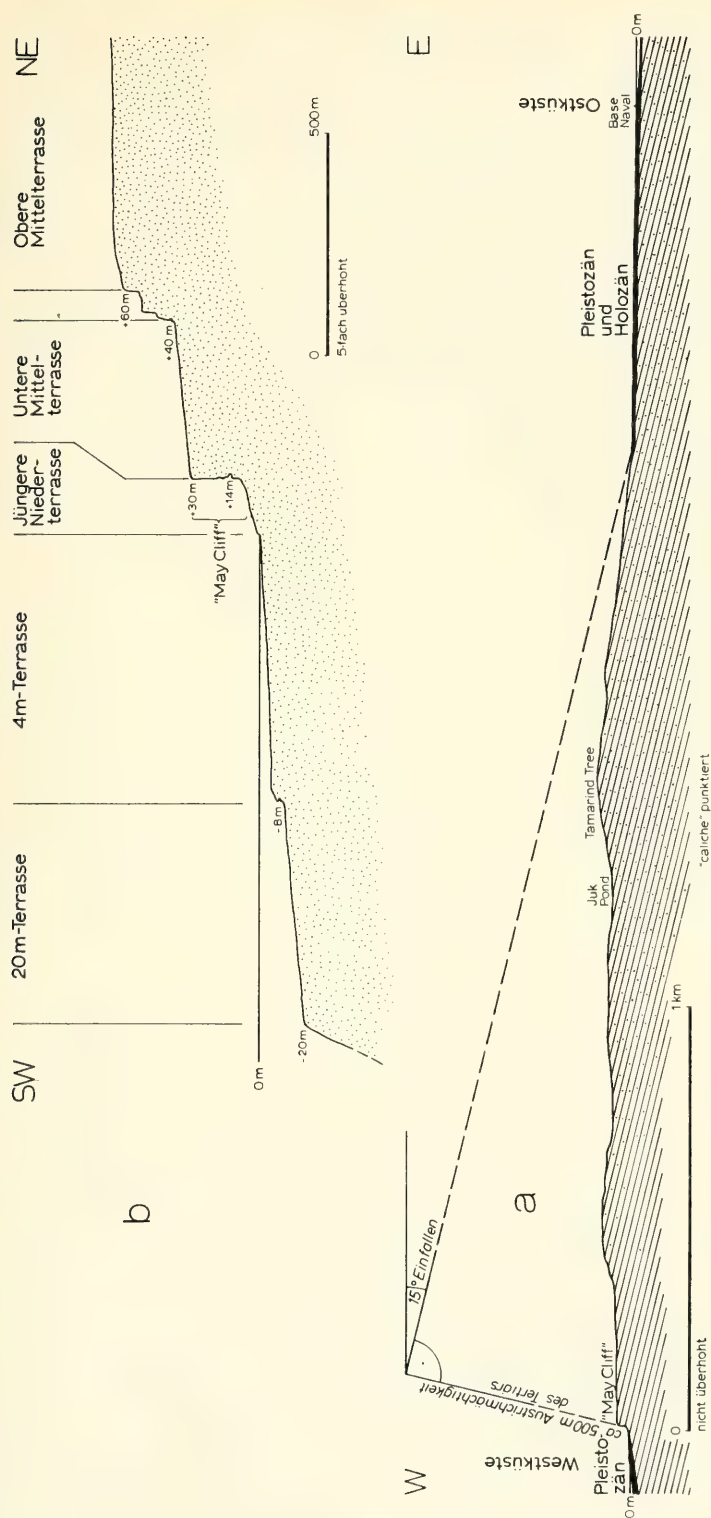


Abb. 24. a. Geologisches Profil durch San Andrés.
 b. Topographisches Profil durch „May Cliff“ und weitere Umgebung.
 a. Geological section across San Andrés Island (vertical scale not exaggerated).
 b. Topographical section across „May Cliff“ and neighbourhood (vertical exaggeration 5:1).

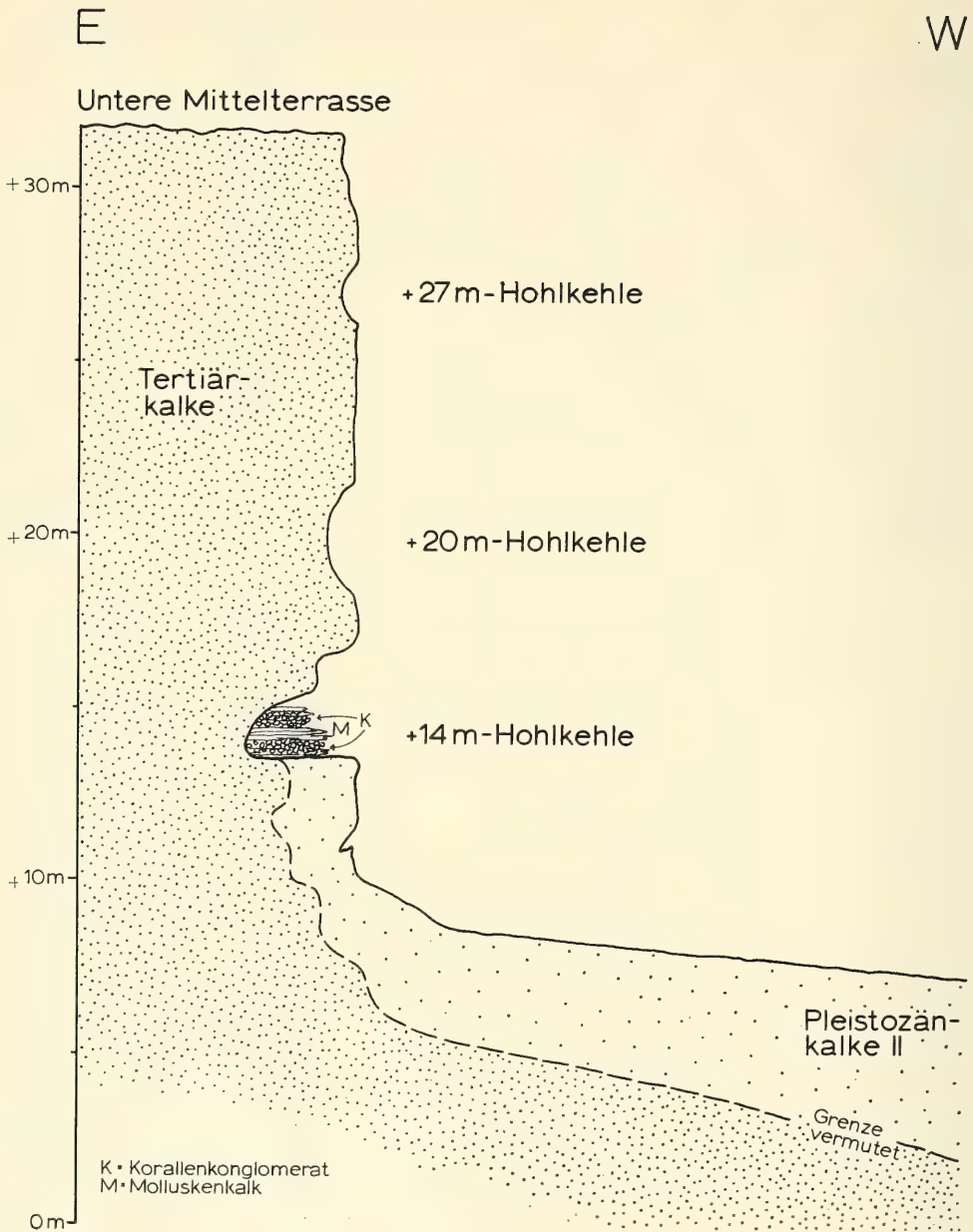


Abb. 25. Pleistozäne Hohlkehlen in der Kliffwand von „May Cliff“ (vgl. Taf. 11, fig. b und c).

Pleistocene intertidal notches at „May Cliff“ (see also plate 11, fig. b and c).

Stellenweise haben sich ausgehend von der Hohlkehle Brandungstunnels entwickelt, welche mit Karsthöhlen im Inneren des Kliffs in Verbindung stehen, so etwa mit der „Room and Hall Cave“ im „May Cliff“. Im Schutze der Hohlkehle blieben am „May Cliff“ als jüngste marine Ablagerungen Bänke aus auffallend kleinwüchsigen Muscheln und Schnecken sowie abgerollten Korallentrümmern erhalten (vgl. Abb. 25; Taf. 11, Fig. b). Umfangreiche Tropfsteinbildungen in der Lösungshohlkehle belegen deren beträchtliches Alter. Unmittelbar über ihrer Oberkante zeigt sie einen Einschnitt, welcher von einem etwas höheren, kurzfristigen Meeresspiegelstand herrührt. In etwa 20 m und in sehr schwacher Ausbildung in 27 m Höhe finden sich an der senkrechten Wand von „May Cliff“ Andeutungen von weiteren Hohlkehlen, welche offensichtlich ebenfalls kurzfristige, spätere Meeresspiegelstände markieren.

Nahe dem Innenrand der Terrasse liegen vor „May Cliff“ und „North Cliff“ vereinzelt riesige Felsblöcke aus Tertiärkalken, welche gegen Ende der Transgression vom damaligen Kliff abstürzten und im flachen Wasser auf den pleistozänen Ablagerungen liegen blieben. Auch diese Blöcke zeigen vielfach eine Hohlkehle in etwa 14 m ü. NN. Sie liegen heute alle auf einem mehr als 2 m hohen Sockel aus Pleistozänkalken, welcher kliffartig unterhalb der Hohlkehle abbricht. Auch diese Beobachtung spricht für eine Kalklösung und damit Tieferlegung der gesamten Jüngerer Niederterrasse um einen Betrag von mehreren Metern.

Ältere Niederterrasse (?—ca. 8 m über NN)

Sie wurde bei der Transgression der Jüngerer Niederterrasse durchweg zerstört und fast überall von jüngeren Sedimenten überlagert. Deshalb ist sie immer nur indirekt nachweisbar, so durch ihre Kalkablagerungen, welche beispielsweise am Fuße von „North Cliff“ durch Abtragung der auflagernden jüngeren Kalke zutage treten. Es ist weder die ursprüngliche Ober- noch die Unterkante der Terrasse bekannt. Die Basis der Kalke ist offenbar nirgends aufgeschlossen, doch scheint die Terrasse in die anstehenden Tertiärkalke geschnitten zu sein und dürfte mit ihrer Oberkante bis mindestens 8 m ü. NN, mit ihrer Außenkante jedoch tiefer als 0 m gereicht haben.

20 m-Terrasse oder Vorriff-Terrasse (25—8 m unter NN)

Sie bildet den Außenrand des Insularschelfes und erreicht hier stellenweise eine Breite von über 500 m. Auch die breite Verebnung im Kammbereich der „Pallat-Bank“, in Abb. 7 D wegen der starken Überhöhung der Echosondenprofile nicht als Terrasse erkennbar, muß zur 20 m-Terrasse gezählt werden. Die Terrasse setzt in der Regel in 18—20 m Wassertiefe, am Nord- und Südende des Insularschelfes auch schon in 25 m Tiefe ein und steigt von dort in Richtung zur Insel langsam bis in 10—8 m Wassertiefe an. Vor der Westküste endet sie am Kliff an einer Lösungshohlkehle vom Typ Ca (vgl. Abb. 16) in heute 8 m Tiefe, im E und NE am Fuße des Wallriffes. Auffallenderweise setzt sich auch dieses Kliff vor der Westküste örtlich noch als bis zu 2 m hohe, senkrechte Wand unterhalb der Hohlkehle fort, was entsprechend den Verhältnissen bei der Jüngerer Niederterrasse auf eine längere atmosphärische Verwitterung und dadurch bedingte Kalklösung schließen läßt. Auch die erwähnte Höhle an der senkrechten Kliffwand von „Bocatora Hole“ in etwa 8 m Tiefe dürfte wohl eine solche Lösungshohlkehle darstellen.

Die Kliffwand oberhalb der genannten Hohlkehlen erscheint steil bis senkrecht. Stellenweise wurde sie bei der Transgression der holozänen 4 m-Terrasse ab-

geschnitten. Hier und am heutigen Küstenkliff lassen sich stellenweise weitere, wenn auch sehr unvollkommen ausgebildete Hohlkehlen in 6, 4, 3, 2 und 1 m Wassertiefe beobachten, die wohl in der Mehrzahl holozänen Alters sind.

40 m-Terrassenabsatz (46—35 m unter NN)

Er bildet eine deutliche, weit verbreitete, meist wohl weniger als 20 m breite Stufe am Außenabhang des heutigen Insularschelfes im Tiefenbereich zwischen 35 und 46 m Tiefe. Durch die Talussedimente an der Innenkante der Terrasse und den dichten Korallenwuchs am Außenabhang werden etwa vorhandene Hohlkehlenbildungen vollständig verdeckt. Ein wenige Meter breiter Absatz, welcher im fraglichen Tiefenbereich in der Kliffwand von „Bocatora Hole“ auftritt, dürfte eine äquivalente Bildung darstellen.

Tiefwasser-Terrassen (?) (56 m und 100—90 m unter NN)

Weitere Verebnungen wurden im Echosondenprofil E (Abb. 7) in 56 m und 100—90 m Wassertiefe aufgezeichnet. Über sie lassen sich keine näheren Ausführungen machen.

5.1.2. Petrographie der pleistozänen Kalke Aufbau, Verbreitung und Untergliederung

Pleistozäne Strandablagerungen wie auch submarine oder äolische Dünenbildungen sind auf San Andrés im Gegensatz zu anderen westindischen Lokalitäten (BRUNT et al. 1973; DE BUISSONJÉ 1964; HOFFMEISTER et al. 1967; KAYE 1959, 79 ff.; MESOLELLA et al. 1970; RUSSELL & McINTIRE 1966) nicht überliefert. Auch wurden keine Kalkooide festgestellt. Zu den Pleistozänkalken gehören die marinen Kalkablagerungen der Älteren Niederterrasse (Korallenkalke I), die darüberliegenden Kalke der Jüngeren Niederterrasse (Korallenkalke II) sowie Relikte von pleistozänen Korallenkalken am Südosthang des „Sam Wright Hill“. Alle diese Kalke werden hier als San Luis-Formation zusammengefaßt, benannt nach der Ortschaft „San Luis“ an der Ostküste der Insel, in deren Umgebung die Kalke in einem breiten Streifen aufgeschlossen liegen.

Korallenkalke I

Das Gestein erscheint im Bruch rein weiß, erhält aber in der Regel durch einen oberflächlichen Algenüberzug eine graue Farbe. Seine Grundmasse besteht aus einer biocalcarenitischen Matrix, in welche Rifffkorallen eingelagert sind, welche — soweit festgestellt — alle der quartären westindischen Fauna angehören.

Korallenkalke II

Sie bilden einen pleistozänen Rifffkomplex, welcher fast die gesamte Inselplattform und den Insularschelf umfaßt. Das weißliche, an der Oberfläche ebenfalls graue Gestein besteht gleichfalls aus einer biocalcarenitischen Grundmasse mit eingelagerten Rifffkorallen (Taf. 11, Fig. d). Stellenweise fehlen allerdings die Korallen, besonders in Übergangsbereichen zum Lagunenbecken. Die Grundmasse wird von verfestigten detritischen Sedimenten gebildet, welche ähnliche Zusammensetzung zeigen wie die Sedimente im rezenten Rifffkomplex. Verglichen mit den Korallenkalken I zeigen sie makroskopisch einen geringeren Grad der Umkristallisation und Verfestigung. Der petrographische Habitus der Kalke entspricht weitgehend demjenigen ähnlicher Ab-

lagerungen, welche von anderen Lokalitäten des westindischen Raumes erwähnt und beschrieben wurden, so von den Florida Keys (STANLEY 1966; HOFFMEISTER & MULTER 1969), von Barbados (MESOLELLA 1968; MESOLELLA et al. 1970), den niederländischen Inseln unter dem Winde (DE BUISONJÉ 1964) und von Providencia (GEISTER 1972 b).

Die Korallen sind vielfach deutlich umkristallisiert, aber dennoch so gut erhalten, daß dadurch eine Artbestimmung meist nicht behindert wird. Vielfach ist auch die Feinskulptur noch im Detail erkennbar. Röntgen-Analysen verschiedener Korallenproben zeigten, daß das aragonitische Skelett der Korallen in den meisten Fällen zu mehr als der Hälfte in Calcit umgewandelt wurde*). Besonders gut erhaltene Korallenexemplare fanden sich in Lagen, welche vor den Einwirkungen des Regenwassers stärker geschützt waren, z. B. wenn sie unter größeren Kolonien anderer Korallen oder im Schutze der Hohlkehle von „May Cliff“ zur Ablagerung kamen. Im allgemeinen scheint die Korallenerhaltung ähnlich gut zu sein wie im Key Largo Limestone von Florida (STANLEY 1966), den ich an der Typus-Lokalität besichtigen konnte.

Pleistozäne Korallenrelikte am „Sam Wright Hill“

Die reliktarigen Korallenkalke, welche am Südosthang des „Sam Wright Hill“ in etwa 65 m Höhe auf tertiären Kalken gefunden wurden, entsprechen in ihrem Erhaltungszustand den Korallenkalken II. Möglicherweise haben sie sich bei einem kurzfristigen hohen Meeresspiegelstand im Anschluß an die Bildung der 14 m-Hohlkehle oder schon während der Bildung der Mittelterrassen abgelagert, obwohl gegen die letztere Möglichkeit der vorzügliche Erhaltungszustand der Korallen sprechen würde. Die Kalke bestehen im wesentlichen aus verstreuten, auf dem Tertiär aufgewachsenen Kolonien von *Montastrea annularis*, *M. cavernosa* und *Dichocoenia stokesii*.

Unterscheidung der Korallenkalke I und II

Da in der petrographischen Ausbildung zwischen den Korallenkalken I und II nur graduelle Unterschiede bestehen, scheint ihre Unterscheidung wenig gerechtfertigt. Für die Existenz zweier unterschiedlicher Kalkkomplexe sprechen dennoch folgende Beobachtungen:

1. Die älteren Kalke zeigen bei makroskopischer Prüfung durchweg einen höheren Grad diagenetischer Veränderung.

2. Innerhalb der San Luis-Formation tritt eine deutliche, etwa horizontale Ablösungsfuge auf, welche stellenweise am rezenten Kliff der Westküste nahe dem Wasserspiegel beobachtet werden kann und die Grenzfläche zwischen beiden Kalkkomplexen darstellen könnte. Sie ist ebenfalls an den Wänden mancher Karsthöhlen wie der „Schooner Bight Cave“ festgestellt worden und wird dort teilweise durch einen dünnen Roterdehorizont markiert.

3. Das gesamte Kliff am Innenrand der 20 m- bzw. 4 m-Terrasse vor der Westküste der Insel besteht — soweit aufgeschlossen — ausschließlich aus pleistozänen Gesteinen der San Luis-Formation, welche sich ohne Schwierigkeiten von den tertiären Gesteinen unterscheiden lassen. Tertiärer Kalk wurde auch an der Basis des Kliffs nirgends festgestellt. Andererseits ist stellenweise ein riffartig dichter, pleistozäner Korallenwuchs in den Korallenkalken II im Anschluß an die Kliffkante erhalten und löst sich schon in wenigen Metern Entfernung zu einem zunehmend lockereren

*) Für die Ausführung der Röntgenanalysen sei Herrn Dr. W. WETZENSTEIN (Stuttgart) gedankt.

Korallenrasen auf. Überall dort, wo das alte Kliff von der holozänen 4 m-Terrasse abgeschnitten wurde, fehlt dann naturgemäß entlang dem heutigen Küstenkliff dieser auffallende Korallenwuchs. Im rezenten Riffkomplex wird der Außenrand von Terrassen vor Steilbrüchen aus schon weiter oben erläuterten Gründen von einer riffartig dichten Korallenfauna besiedelt. Da das Kliff bereits in Pleistozänkalke eingeschnitten wurde, müssen sich hier zwei verschieden alte pleistozäne Kalke überlagern.

5.1.3. Jungpleistozäne Störungen

Fast die gesamten Korallenkalke II werden im Bereich der Inselplattform von zahlreichen, meist nicht mehr als 10 cm breiten, tektonisch bedingten Brüchen durchzogen, welche nirgends in ganz gerader Linie verlaufen, aber dennoch eine auffallende Orientierung in NNE- oder NW-Richtung aufweisen (Abb. 26). Der durch den Bruch entstandene Spalt wird heute durchweg von einer Calcitkruste tropfstein-

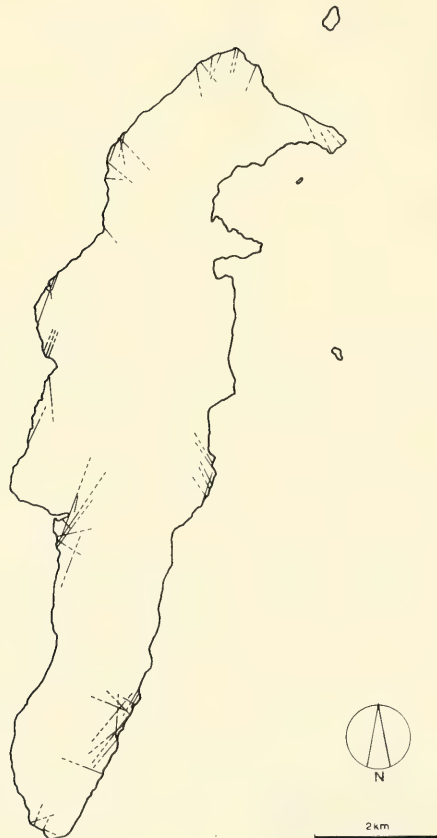


Abb. 26. Verteilung von Störungen jungpleistozänen Alters im Bereich der Jüngeren Niederterrasse von San Andrés.

Distribution of tectonic faults of late Pleistocene age on the Younger Low Terrace of San Andrés Island.

artig verfüllt, welche der Oberflächenverwitterung stärker widersteht als das poröse Korallengestein und deshalb vielfach auf der Terrassenoberfläche als bis über 50 cm hohe Rippe, ähnlich kleinen Basaltgängen, hervortritt. An wenigen Stellen sind die Störungsspalten durch heute verfestigtes Lockersediment verfüllt, welches beim Aufreißen in sie hineinstürzte. Diese Beobachtungen zeigen, daß sich die Brüche teilweise während und teilweise nach Ablagerung der Korallenkalke II bildeten.

Eine merkliche horizontale und vertikale Versetzung entlang der Störungsflächen ist nicht vorhanden. Das zeigen Korallenkolonien, welche durch die Störungen zwar auseinanderbrachen, aber sonst im wesentlichen in ihrer ursprünglichen Position verblieben. Möglicherweise handelt es sich bei dem zugrunde liegenden tektonischen Vorgang um eine leichte Aufbeulung der Erdkruste entlang von schon vorhandenen Störungssystemen. Diese Aufbeulung könnte ein Herausheben der Insel um geringe Beträge bewirkt haben. Eine Verstellung ist dadurch offensichtlich nicht erfolgt.

5.2. Beschreibung des jungpleistozänen Riffkomplexes

Da lediglich die Korallenkalke II (vgl. Abb. 3) großflächig aufgeschlossen sind, müssen sich Ausführungen über Fossilverteilung und Fazies ganz auf diese beschränken.

Die Korallenkalke II bilden einen gut erhaltenen fossilen Riffkomplex, in welchem in der Mehrzahl der Fälle die Korallenkolonien noch *in situ* angetroffen werden und deshalb auch in dieser Hinsicht durchaus mit dem Key Largo Limestone von Florida und entsprechenden Kalken auf den niederländischen Inseln unter dem Winde oder auf Barbados zu vergleichen sind. Diese Verhältnisse unterscheiden sich jedoch sehr deutlich von pleistozänen Korallenablagerungen in Kuba, bei welchen es sich nach den Untersuchungen von ZENKOVIČ (1969a, 82) um Akkumulativformen aus klastischem Korallenmaterial handeln soll. Im Gegensatz zum Key Largo Limestone zeigen die Korallen auf San Andrés aber eine auffallende Zonenbildung. Außerdem läßt sich — zumindest in großen Zügen — die Lage von Riff und Lagune sowie die damalige submarine Topographie rekonstruieren.

Da der pleistozäne Riffkomplex durch holozäne Ablagerungen und Terrassenbildungen sowie Überflutung der tieferliegenden Bereiche heute nur begrenzt zugänglich ist, waren bei der kartenmäßigen Darstellung in Abb. 27 verschiedene Inter- und Extrapolationen nötig. Solche unsicheren Gebiete wurden auf der Karte durch Horizontalschraffur gekennzeichnet.

Wallriff

Im W der Insel war zur Zeit der Ablagerung der Korallenkalke II kein eigentliches Wallriff entwickelt. Die Geländekante des Kliffes, welches den Innenrand der 20 m-Terrasse markiert, zeigt einen riffartig dichten Korallenwuchs, welcher mit der rezenten Besiedlung am Außenrand der 20 m-Terrasse vor der Westküste zu vergleichen ist. Dabei handelt es sich im wesentlichen ebenfalls um die Korallenfauna der *annularis*-Wellenzone: große, meist blumenkohlartige Kolonien von *Montastrea annularis*, Mussiden, *Agaricia*, *Eusmilia* sowie vereinzelte Kolonien von *Acropora cervicornis* und *Madracis* ssp. An verschiedenen Punkten haben sich in offenbar stärker wellenexponierten Lagen mehr oder weniger zusammenhängende Hecken von *Acropora palmata* angesiedelt. Inseleinwärts löst sich der riffartig dichte Korallenwuchs auf und leitet dann in einen lockeren Rasen von *Montastrea annularis* und schließlich in einen solchen von *Acropora cervicornis* über.

Das Wallriff im E, NE und NW der Insel dürfte im wesentlichen schon dieselbe Lage wie das heutige Wallriff eingenommen haben. Dafür sprechen vor allem die fossilen Hecken von *Acropora palmata*, welche in Höhlen in bestimmten Abschnitten des Wallriffes festgestellt wurden und offensichtlich die Kammzone des pleistozänen Riffes bilden. Das Wallriff nahm also damals wie heute im wesentlichen den topographischen Kamm zwischen 20 m-Terrasse und Lagune ein, und war offensichtlich ähnlich wie die pleistozäne Korallen-Vergesellschaftung auf der Westseite einem Kliff oder einem Relikt hiervon aufgewachsen, welches den Innenrand der 20 m-Terrasse markierte. Die Korallen des rezenten Wallriffes dagegen siedelten unmittelbar auf diesem jungpleistozänen Wallriff auf.

Saumriffe

Das einzige gut aufgeschlossene pleistozäne Saumriff befindet sich im S von „San Luis“ nahe der Lokalität „Occasion Call“. Das Riff wird von *Diploria strigosa*, *Acropora palmata* und weiteren, meist hemisphärischen Kolonien aufgebaut. Das Vorriff liegt heute unter Wasser. Im Rückriffbereich löst sich der vor allem im S sehr dichte Korallenwuchs sehr bald zu einem lockeren Korallenrasen auf. In noch größerem Abstand vom Riff finden sich schließlich nur noch weitverstreut Kolonien von *Diploria strigosa* im Bereich der diagenetisch verfestigten Lagunensedimente.

Der im NW des Landestreifens gelegene Riffrücken ist nur mangelhaft aufgeschlossen. Offensichtlich zeigt er eine nicht zusammenhängende Besiedlung von *Diploria strigosa* und *Acropora palmata*.

Korallenrasen

Als Korallenrasen werden im pleistozänen Riffkomplex diejenigen Gebiete bezeichnet, in denen Riffwuchs und Sedimentakkumulation sich räumlich nicht scharf voneinander trennen lassen. Wichtigste rasenbildende Korallen sind *Montastrea annularis* und *Acropora cervicornis*, welche hier ausgedehnte Bereiche besiedeln. Beide lassen sich in Übergangsbereichen meist nicht klar gegeneinander abgrenzen. Sie bilden ebenfalls fließende Übergänge zur Lagunen-Fazies. Stellenweise treten auch mehr oder weniger große Flecken von *Acropora palmata* auf, die im S der Insel sehr verstreut lagen und deshalb auf Abb. 27 schematisch zusammengefaßt werden mußten.

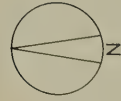
Lagune

Korallenfreie Lagunen-Ablagerungen sind vor allem im mittleren Teil der heutigen Ostküste aufgeschlossen. Die Lagunen-Ablagerungen bei „San Luis“ enthalten zahlreiche Mollusken, so *Strombus gigas* und *Lucina pensylvanica*. Muscheln sind in der Regel zweiklappig erhalten und wurden oft *in situ* eingebettet, was auf eine geringe Durchbewegung der Sedimente nach der Ablagerung schließen läßt.

An verschiedenen Stellen im Bereich der pleistozänen Lagunen-Fazies, z. B. am Ufer der Bucht von „Southwest Cove“ und besonders bei „Sterthenberg Point“, treten auffallende Sedimentstrukturen auf, welche im horizontalen Anschnitt als Serien kon-

Abb. 27. Fazies- und Benthosverteilung auf dem jungpleistozänen Insularschelf von San Andrés. Es ist die vermutliche Inseltopographie zur damaligen Zeit angegeben.

Distribution of facies and benthic organisms on the late Pleistocene insular shelf of San Andrés. Island topography conjectural.



1 km



- Ausdehnung u. Topographie der Insel**
 (hinter dem Meeresspiegel
 ~8m höher als heute)
- heute verfestigte Lockersedimente**
 (ungegliedert)
- Abrasions-Wellenzonen (ungegliedert)**
- Lagunen-
Fazies**
- Hartgrund**
- Riff-Efazies
(Flachwasser-
Riffbereich)**
- strigosa u.
palmeta**
- strigosa**
- cervicornis-Wellenzone**
- Riff**
- anularis-
Wellenzone**
- Rasen**
- hypothetisch, da
durch Sedimente verdeckt
oder abgetragen**
- heutige Küstenlinie**

zentrischer Ringe erscheinen. Sie zeigen einen zylindrischen bis konischen Aufbau und erreichen mehr als 50 cm Durchmesser (Taf. 8, Fig. d). Möglicherweise handelt es sich dabei um fossile Grabbauten ähnlich denjenigen, wie sie in der rezenten Lagune von (?) *Callianassa* erzeugt werden. Sie zeigen große Übereinstimmung mit den von SHINN (1968) beschriebenen und abgebildeten pleistozänen Sedimentstrukturen, welche ebenfalls als fossile Grabbauten interpretiert werden.

Vorriff-Terrasse

Wie bereits ausgeführt, hat sich die 20 m-Terrasse vor Ablagerung der Korallenkalke II gebildet. Diese muß deshalb schon Vorriff-Terrasse des jungpleistozänen Riffkomplexes gewesen sein. Über einen möglichen Korallenwuchs und Sedimentakkumulation auf der Terrasse lassen sich nur Vermutungen anstellen. Im E der Insel war sie wahrscheinlich als Hartgrund ausgebildet. Ablagerungen von Sand und Korallen im W können nicht ausgeschlossen werden.

5.3. Faziell-ökologische Analyse

Wie bereits weiter oben erwähnt, sind lediglich die Korallenkalke II großflächig aufgeschlossen, und nur auf sie beziehen sich die nachfolgenden Angaben.

Faziesverteilung und submarines Relief

Im Bereich der heutigen Inselterrasse ist nur eine geringe fazielle Differenzierung zu erkennen, was sich in der weiten Verbreitung eines mehr oder weniger stark aufgelösten Korallenrasens und im Zurücktreten von echten Riff- und Lagunenbildungen zeigt. Diese geringe fazielle Differenzierung beruht in erster Linie auf dem Fehlen eines ausgeprägten submarinen Reliefs, welches eine räumliche Trennung von Sedimentakkumulation in den Mulden und von Riffwuchs im Bereich der Konvexformen zur Folge gehabt hätte. Derartige, verglichen mit dem rezenten Riffkomplex ungewöhnliche Verhältnisse finden ihre Erklärung in der Entwicklung der Inselplattform aus einer Abrasionsterrasse. Im Bereich der damaligen Küstenlinie sind stellenweise noch Abrasionsterrassen mit Überkrustungen durch typische Hartgrundfauna erhalten.

Die Lagune hat schon im wesentlichen den Bereich des heutigen Lagunenbeckens eingenommen und reichte von hier bis an die Ostküste der damaligen Insel. Auch die Lage des Wallriffs und diejenige der Fleckenriffe dürfte schon in etwa der heutigen entsprochen haben.

Wassertiefe zur Ablagerungszeit

Die Ablagerung der Korallenkalke II fand im Zusammenhang mit einer Transgression statt, bei welcher der Meeresspiegel langsam von mindestens 0 auf 14 m und danach noch kurzfristig höher anstieg, wie aus der Höhenlage der Korallenkalke II und den Hohlkehlen in „North Cliff“ und „May Cliff“ zu schließen ist. Dies findet seine Bestätigung im Auftreten von *Acropora palmata* und *Dendrogyra cylindrus* sowie im vollständigen Fehlen von *Agaricia undata* und *Scolymia lacera*. Diese Beobachtungen zeigen, daß sich der ganze heute zugängliche Riffkomplex oberhalb des Tiefwasser-Riffbereiches in weniger als 20 m Wassertiefe abgelagert haben dürfte. Das relativ häufige Auftreten von *Acropora palmata* nur wenige Meter über dem heutigen Meeresspiegel auch in leeseitigen Positionen spricht für einen Wasserspiegel, der während der Hauptablagerungszeit den heutigen kaum um mehr als 10 m über-

troffen haben dürfte. Das fast vollständige Fehlen von *Millepora*, welche nur im wellenbewegten Flachwasserbereich der rezenten Riffe häufig auftritt, läßt andererseits vermuten, daß der Meeresspiegel auch nicht wesentlich unter dem + 10 m-Niveau gelegen hat.

Wie bereits ausgeführt, liegen gleichnamige vordere Wellen- bzw. Brandungszonen bei der gleichen Wellenexposition im selben Tiefenintervall. In der Annahme, daß die Wellenverteilung im Karibischen Meer zur fraglichen Zeit der heutigen etwa entsprach, kann man schließen, daß die am „Big Reef“ in heute 2–3 m tiefem Wasser festgestellte pleistozäne *strigosa-palmata*-Brandungszone damals in 8–10 m Wassertiefe vorkam. Dies entspricht der heutigen vorderen *strigosa-palmata*-Brandungszone im selben Wallriffabschnitt. Daraus ergäbe sich ein 5–8 m höherer Meeresspiegel zur damaligen Zeit. Zu einem ähnlichen Ergebnis (7,5–9 m) führen auch Untersuchungen über die Faunenzusammensetzung der pleistozänen Mollusken von San Andrés (GEISTER 1973a).

Der Widerspruch zwischen diesen Werten und der maximalen Ablagerungshöhe der Kalke (14 m) sowie der Höhenlage der Hohlkehlen erklären sich damit, daß letztere die höchsten Meeresspiegelstände markieren, während die Hauptmasse der Kalke schon bei einem niedrigeren Meeresspiegelstand abgelagert wurde. Die bei den höchsten Meeresspiegelständen abgelagerten Kalke sind heute wieder weitgehend weggelöst, wie dies unterhalb der 14 m-Hohlkehle ersichtlich ist. Die Hauptmasse der Kalke dürfte deshalb kaum bei einem Meeresspiegel von mehr als 8–10 m ü. NN. abgelagert worden sein.

Wellenexposition

Im Bereich der heutigen Insel bedeckt die *cervicornis*-Wellenzone die mit Abstand größte Fläche in Bereichen, die wenige Meter bis rund 8 m unter dem damals vorherrschenden Meeresspiegel lagen. Diese verhältnismäßig große Tiefenreichweite der *cervicornis*-Wellenzone im Vergleich zum rezenten Riffkomplex zeigt, daß die von außen einlaufende Dünung durch das Wallriff nur wenig abgeschwächt wurde. Eine Erklärung hierfür gibt die ungewöhnlich tiefe Lage des Wallriffes in wahrscheinlich mehr als 8 m unter dem damaligen Meeresspiegel. Dadurch konnten auch Wellen größerer Amplitude von der offenen See bis zur seinerzeitigen Küste bei nur allmählicher Abschwächung durchlaufen.

Durch den wesentlich breiteren und teilweise auch tiefer liegenden Insularschelf sowie die vergleichsweise kurze Nord-Süd-Erstreckung der damaligen Insel erfolgte eine wesentlich stärkere Refraktion der Dünung um die Nord- und Südspitze der Insel herum, als das heute der Fall ist. So konnten sich damals an der Leeseite im Gegensatz zu heute auch in wenige Meter tiefem Wasser zusammenhängende *palmata*-Hecken an verschiedenen, besonders exponierten Punkten ansiedeln.

Das Auftreten von weit auseinandergezogenen Wellenzonen an Stelle von zonengegliederten Brandungsriffen zeigt, daß infolge des monotonen Reliefs keine scharfen Gradienten der Wellenexposition auftraten, welche eine enge Parallelzonierung zur Folge gehabt hätten.

Es haben sich keine Hinweise finden lassen, die auf eine Existenz der *Thalassia-Cymodocea*- und der *Rhizophora mangle*-Wellenzone schließen ließen. Letztere dürfte wegen der relativ stärkeren Wellenexposition entlang der damaligen Küste nicht ausgebildet gewesen sein. Außerdem waren keine ruhigen Buchten vorhanden, in deren Schutz die Rote Mangrove hätte siedeln können.

Abrasion

Vereinzelte von Korallen überkrustete Kalksteinflächen kamen nach Ablösung des überlagernden Gesteins auf der Abrasionsfläche an der Basis der Korallenkalke II zum Vorschein und werden hier als Hartgründe gedeutet. Im E von „Perry“, einem kleinen Inselberg aus tertiärem Gestein, welcher damals den Meeresspiegel überlagte, wurden etwa 6 m über dem heutigen Meeresspiegel breite, mehrlagige Überkrustungen fladenförmiger Kolonien von *Diploria clivosa* festgestellt. Möglicherweise handelt es sich hier um den Rest einer echten *Palythoa-clivosa*-Abrasions-Wellenzone, welche hydrodynamisch der *Palythoa-Millepora*-Wellenzone entspräche. Das stünde jedenfalls mit der ungeschützten, nach NE und E exponierten Lage dieser Lokalität im Einklang.

Strömung

Anzeichen für die im rezenten Riffkomplex beschriebenen Strömungseffekte haben sich aus der Faunenverteilung nicht ergeben. Das damals recht einfache submarine Relief im Bereich der heutigen Inselplattform bei verhältnismäßig tiefem Wasser und starker Wellenexposition sowie die tiefe, allseitige Verbindung zum offenen Meer lassen eine gute Durchströmung des gesamten Insularschelfes und damit auch keinerlei an der Faunenzusammensetzung erkennbare Schwankungen von Salinität, Temperatur und O₂-Gehalt des Wassers erwarten.

Neigungswinkel

Der äußerst dichte Korallenwuchs von *Montastrea annularis* unmittelbar vor dem Abbruch zur 20 m-Terrasse an der Westküste bildet den einzigen ökologischen Hinweis auf einen Steilabfall am damaligen Insularschelf. Bedingt durch die recht ausgeglichene submarine Topographie war im Bereich der heutigen Inselplattform nirgends eine Wellenzonendrängung oder Wellenzonenvertretung infolge von Reliefverteilungen ausgebildet. Auch diese Beobachtung spricht letztlich dafür, daß die Inselplattform aus einer ziemlich gleichförmigen Abrasionsfläche hervorgegangen ist.

Wasserverflachung und Weideselektion

Im Pleistozän von San Andrés wurden keinerlei Beobachtungen gemacht, welche mit einer Organismenvertretung infolge Wasserverflachung oder mit einer Weideselektion zu erklären wären.

5.4. Altersstellung der Pleistozän-Ablagerungen

Absolute Altersbestimmungen nach der ¹⁴C-Methode, die freundlicherweise in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hannover)*) durchgeführt wurden, ergaben für Korallenproben aus den Korallenkalken II ein Alter zwischen 26 000 und 33 000 Jahren, was einem vorübergehenden Meeresspiegelhochstand innerhalb der Würmeiszeit (MILLIMAN & EMERY 1968) entspräche. Bei pleistozänen Korallen muß jedoch mit einem Isotopenaustausch gerechnet werden, der sich in einer scheinbaren Verjüngung der Ablagerungen äußert. Aus diesem Grunde sollte auch ein wesentlich höheres Alter der Kalke in Betracht gezogen werden (GEISTER 1972 b). Die Ablagerung der Kalke bis in maximal 14 m ü. NN. und die anschließende Bildung der Hohlkehle in 20 und 27 m Höhe macht eine Überflutung während der Würm-

*) Für die Ausführung der Analysen sei Herrn Dr. M. GEYH (Hannover) gedankt.

eiszeit wegen des für diese Periode zu starken Meeresspiegelanstiegs unwahrscheinlich. Vermutlich handelt es sich deshalb um Ablagerungen aus dem Riß-Würm-Interglazial.

Sind Kalksteinterrassen über längere Zeiträume der Witterung ausgesetzt, dann werden sie durch Kalklösung an ihrer Oberfläche tiefer gelegt. Nach STODDART (1969, 481) kann man je nach Humidität des Klimas eine Tieferlegung der Kalksteinoberfläche allein durch Regenwasser um etwa 1 bis 2 cm/1000 Jahre erwarten. Durch die ursprünglich sehr dichte Vegetation auf San Andrés als Folge des humiden Klimas sollte man wahrscheinlich noch mit einer merklichen Einwirkung von Huminsäuren rechnen, so daß der Gesamtbetrag der Kalklösung noch über den oben angeführten Werten liegen dürfte. Die Lösung von im Mittel 3 m Kalkgestein seit Zurückweichen des Meeres ist unterhalb der 14 m-Hohlkehle erkenntlich. Unter Zugrundelegung eines erhöhten Lösungsbetrages von etwa 3 cm/1000 Jahre ergäbe sich ein Alter der Ablagerungen von größenordnungsmäßig 100 000 Jahren. Damit könnten die Korallenkalke II altersmäßig dem Key Largo Limestone (HOFFMEISTER & MULTER 1968, 1497) in Florida entsprechen. Auch auf Grund dieser Überlegungen wären sie dann in das Riß-Würm-Interglazial zu stellen.

Der Erhaltungszustand der Korallen, welche am „Sam Wright Hill“ in etwa 65 m Höhe gefunden wurden, entspricht demjenigen der Korallenkalke II. Damit dürften sie wohl jünger als die stärker rekristallisierten Korallenkalke I sein. Ihre Höhenlage läßt jedoch an ein Alter entsprechend der oberen Mittelterrasse denken. Größere tektonische Bewegungen waren seit Bildung der weltweit nachgewiesenen 20 m-Terrasse (oder 10 Faden-Terrasse) im Gebiet von San Andrés nicht mehr möglich. Wahrscheinlich müssen die genannten Kalke deshalb noch ins jüngere Pleistozän gestellt werden. Vielleicht sind sie letzte Zeugen eines kurzen Meeresspiegelhochstandes im Anschluß an die Transgression der Jüngeren Niederterrasse und die Ablagerung der Korallenkalke II.

Bei den Korallenkalken I kann man lediglich vermuten, daß sie bei einem älteren Meeresspiegelmaximum während eines vorangegangenen Interglazials abgelagert wurden. Sie sind älter als die Bildung der heutigen Vorriff-Terrasse (20 m-Terrasse), aber offensichtlich jünger als die Terrassen zwischen 25 und 95 m Höhe.

5.5. Rekonstruktion von pleistozänen Meeresspiegelschwankungen

Die heute erhaltenen Terrassenabschnitte markieren relativ stabile oder sehr langsam ansteigende Meeresspiegelstände innerhalb des Pleistozäns. Einen Hinweis für langsam ansteigenden Meeresspiegel bildet das leichte meerseitige Abfallen sämtlicher Terrassen von San Andrés. Die Stärke der Verwitterung von Terrassenoberflächen und zugehörigem Kliff sowie Erhaltung von Terrassensedimenten wird hier als Anhaltspunkt für das relative Alter der Terrasse angesehen. Hieraus und aus anderen Beobachtungen läßt sich die wahrscheinliche Altersabfolge der Terrassen und damit diejenige der heute noch nachweisbaren Transgressionen ableiten. Diese Transgressionen beruhen in erster Linie auf den eustatischen Schwankungen des Meeresspiegels während des Pleistozäns. Ob vor Bildung der weltweit nachgewiesenen 20 m-Terrasse sich den eustatischen Bewegungen des Meeresspiegels auch noch größere tektonische Bewegungen der Insel überlagert haben, muß beim gegenwärtigen Kenntnisstand offen bleiben.

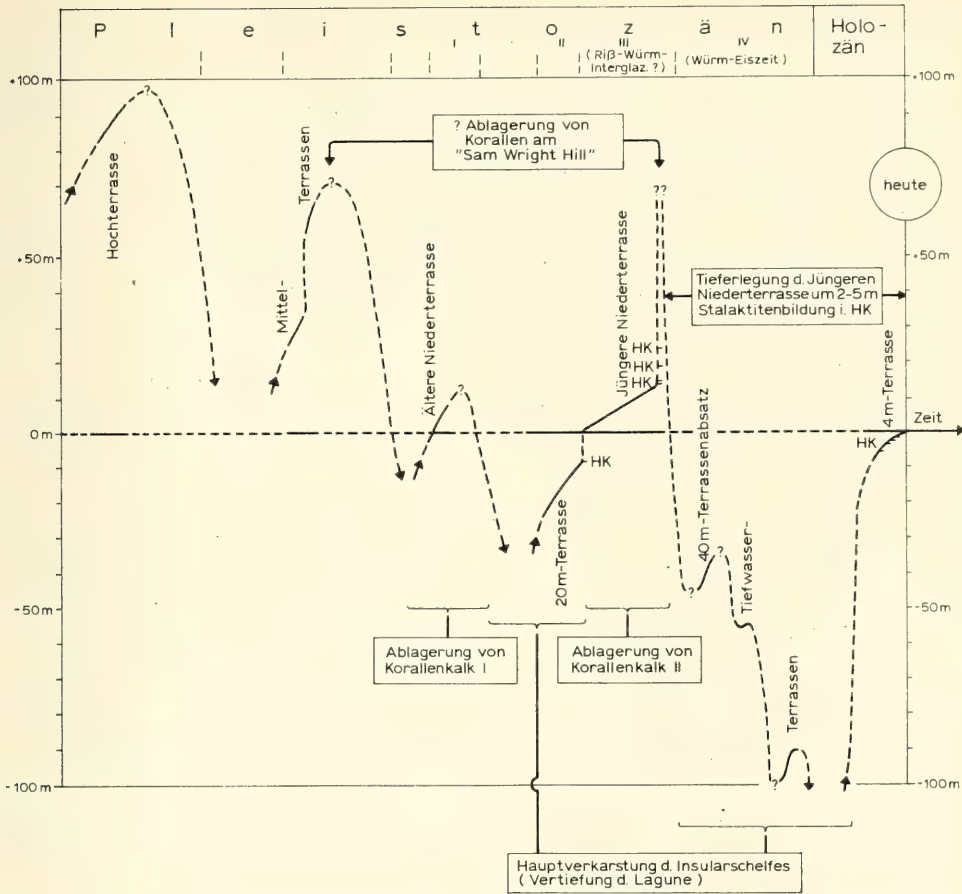


Abb. 28. Die relativen Meeresspiegelschwankungen während des Pleistozäns, welche sich aus der Abfolge der Terrassenbildungen in San Andrés ableiten lassen. Gestrichelte Kurvenabschnitte sind mutmaßlich, da nicht durch Terrassenbildungen belegt. Die Abszisse ist keine absolute Zeitskala; dort, wo gestrichelt, ist der relative Zeitabschnitt unbekannt. HK = Hohlkehlen.

Relative Pleistocene sea-level oscillations that may be deduced from the sequence of terrace formations in San Andrés. Broken intervals of curve are conjectural and not based on morphological evidence. The abscissa is not an absolute time scale; broken intervals represent periods of unknown relative duration. HK = intertidal notches.

Die mutmaßliche Abfolge der Terrassenbildungen von San Andrés wurde in Abb. 28 dargestellt. Dabei basiert die Einordnung der Tiefwasser-Terrassen und des 40 m-Absatzes auf Vermutungen, welche sich aus der Kenntnis eines extrem tiefen Meeresspiegelstandes während der letzten Vereisung ergeben (vgl. MILLIMAN & EMERY 1968). Der Ablauf der Meeresspiegelschwankungen bleibt allerdings sehr lückenhaft, da die erhaltenen Terrassenabschnitte relativ stabile oder sehr langsam ansteigende Meeresspiegelstände markieren, zwischen denen vermutlich wesentlich längere Zeiträume nicht näher bestimmbarer Dauer mit unbekannten Meeresspiegelständen liegen. Diese Zeiträume ergeben sich erstens aus zu schnellen Vertikalbewe-

gungen des Meeresspiegels, welche weder Hohlkehlenbildungen noch Terrassen hinterließen. Noch größere Lücken in der Überlieferung dürften aber ältere Terrassenbildungen darstellen, welche bei späteren, tieferen Meeresspiegelständen wieder abgetragen wurden, so daß hier wichtige Informationen über langdauernde, ältere Meeresspiegelstände ganz oder teilweise verloren gingen.

6. Das Tertiär (San Andrés-Formation)

6.1. Morphologie, Petrographie und Tektonik der tertiären Ablagerungen

6.1.1. Morphologie

Der zentrale Höhenrücken der Insel, lokal „The Hill“ oder auch „La Loma“ genannt, bildet eine etwa 9 km lange, nordsüdstreichende Hügelkette, welche ihre größten Höhen im „Sam Wright Hill“ (ca. 95 m), „Cove Hill“ (ca. 92 m) und im „May Mount“ (ca. 85 m, S „Mission Hill“) erreicht. Durch pleistozäne und holozäne Erosionseinwirkung zeigt der Höhenrücken ein markantes Relief. Der Anstieg von der pleistozänen Inselterrasse erscheint vor allem im W ungewöhnlich steil und nimmt hier teilweise Kliffcharakter an. Verschiedene Hügel besitzen durch pleistozäne Terrassenbildungen planierte Gipfel. Der gesamte Höhenrücken wird, wenn man von quartärem Hangmaterial absieht, ausschließlich aus tertiären Kalken aufgebaut.

Im zentralen Bereich der Tertiärablagerungen setzte entlang einer größeren Anzahl von N-S-gerichteten Störungsbrüchen eine starke Verkarstung mit Dolinenbildung ein. Durch Abtragung entlang einer solchen Störungszone entstand ein Längstal, „Duppy Gully“ genannt, welches den tertiären Höhenrücken der Insel in zwei Äste aufteilt und in südlicher Richtung nach „Southwest Cove“ entwässert. Es führt nur nach sehr starken Regengüssen Wasser und zeigt als Besonderheit eine Kette kleiner Teiche, die sogenannten „Ponds“, welche in der Trockenzeit mit Ausnahme von „Big Pond“ versiegen. Die Teiche sind wohl als Dolinen aufzufassen, die heute weitgehend plombiert sind. Sieht man von verschiedenen kurzen und meist steilen Schluchten im Bereich des Steilabfalles ab, fehlen weitere Täler.

Die Aufschlußverhältnisse sind wegen der sehr tiefgründigen Verwitterung und wegen der meist dichten Vegetation sehr schlecht. Abgesehen von wenigen natürlichen Klippen, Erdfällen und Bachrissen kann der Aufbau des Tertiärs fast nur in Steinbrüchen und Straßeneinschnitten beobachtet werden.

In dieser Arbeit wird für das Tertiär der Insel San Andrés der Name *San Andrés-Formation* vorgeschlagen.

6.1.2. Petrographie

Das Gestein zeigt in lateraler und vertikaler Richtung zahlreiche Übergänge, die durch unterschiedlichen Fossilinhalt und abweichende Gesteinsbeschaffenheit bedingt sind. In tieferen Lagen der San Andrés-Formation, welche besonders auf der Westseite der Insel im „May Cliff“, den Westseiten von „Cove Hill“ und „Sam Wright Hill“ sowie im „North Cliff“ zutage treten, sind auffallende Umkristallisationen und starke Verfestigungen zu beobachten. Das Gestein erscheint rein weiß und bildet einen harten, spröden Kalk, welcher örtlich kavernös ausgebildet sein kann. Dies ist besonders dort der Fall, wo zahlreiche Fossilien sich nur als Hohlformen erhalten

haben. Es handelt sich um den Kalkkomplex, der schon von BÜRL (1961, 22) als „caliza blanca, compacta y dura“ beschrieben wurde.

Mit unscharfer Grenze folgen darüber lockere, leichter verwitternde Kalke von meist gelblicher Tönung, welche sich durch einen geringen Tongehalt auszeichnen und vielfach zu Mergel verwittern. Dieses Gestein nimmt vor allem die mittleren und östlichen Bereiche des Höhenrückens ein und bedingt wahrscheinlich das sanftere Relief am Ostabhang des zentralen Höhenrückens. BÜRL (1961, 22) bezeichnet das Gestein als „caliche“ in Analogie zu ähnlichen Ablagerungen an der kolumbianischen Küste. Zwischen beiden Gesteinskomplexen bestehen fließende Übergänge in horizontaler und vertikaler Richtung.

Die massig-spröden Kalke haben offenbar infolge des fehlenden Tongehaltes eine starke Umkristallisation durchgemacht, so daß nahezu alle Molluskenschalen und Korallen vollständig aufgelöst wurden, und nur deren Hohlformen erhalten blieben. Weniger stark ist die Umkristallisation im „caliche“. Hier sind zwar auch meist die Molluskenschalen mit Ausnahme von calcitschaligen Muscheln (wie Ostreiden, Pectiniden und gelegentlich *Spondylus*) nur als Abdrücke überliefert. Nicht selten fanden sich jedoch, besonders in den stärker mergeligen Partien, selbst Korallen in körperlicher Erhaltung, welche nur wenig durch Umkristallisation verändert waren.

Bei „Lions Hill“ waren örtlich in die „caliche“-Ablagerungen vereinzelt graue Klümpchen eingebettet, welche in ihrem Aussehen an zersetztes vulkanisches Aschematerial erinnern. Herr Dr. W. WETZENSTEIN (Stuttgart) untersuchte eine derartige Probe und konnte dabei im Körnerpräparat Plagioklase (Oligoklas bis Andesin auf Grund des Brechungsindex) feststellen. Die Röntgenanalyse einer weiteren Probe von derselben Lokalität ergab, daß es sich bei dem Tonanteil des „caliche“ um die Mineralgruppe der Smekтите (Montmorillonit-Gruppe) handelt. Daneben fanden sich Spuren von Quarz und Goethit. Das Ausgangsmaterial könnten vulkanische Aschen gewesen sein, die in marines Milieu gelangten und dort teilweise zu Smektiten umgewandelt wurden (freundl. Mitteilung von Dr. WETZENSTEIN).

Es ist denkbar, daß Aschen von den umliegenden miozänen Vulkanen wie z. B. der Insel Providencia oder auch solchen Vulkanen, die heute unter dem Meeresspiegel liegen, durch Wind und Meeresströmungen antransportiert wurden und im Bereich der Lagune von San Andrés zur Ablagerung kamen. Dennoch wurde keine Stratifikation des vulkanischen Materials im Gestein beobachtet, wie es bei periodischen Vulkanausbrüchen zu erwarten wäre. Eine mögliche Erklärung für die meist gleichmäßige Verteilung der geringen Tonanteile in den miozänen Lagunensedimenten gibt die Bioturbation, durch welche sicher schon damals am Lagunenboden eine intensive Durchmischung erfolgte.

6.1.3. Tektonik

Schwierigkeiten bereitet bei den Untersuchungen die Tatsache, daß keine Schichten auftreten, die auf größere Entfernung verfolgt werden können. Jedoch sind in verschiedenen Aufschlüssen des „caliche“ stärker verfestigte Horizonte zu erkennen, welche sich oftmals durch eine abweichende Führung von Schalenmaterial und Korallen unterscheiden. Die Horizonte wittern gelegentlich an der Oberfläche bankartig heraus. Dies ist verhältnismäßig gut am Straßeneinschnitt von „Harmony Hall Hill“ und in der Nähe des Baseball-Feldes im W von „Juk Pond“ zu beobachten. Die Oberflächen solcher verfestigter Horizonte wurden an 7 verschiedenen, gut aufgeschlossenen Punkten zwischen „Sam Wright Hill“ und „May Mount“ eingemessen. Es ergab

sich übereinstimmend ein angenähertes NNE-Streichen und ein Einfallen von rund 15° nach E. Auch verschiedene rasenartige Korallenflecken wurden eingemessen und zeigten etwa dieselben Werte. Lediglich im N von „Perry Hill“, vor allem bei „North Cliff“, ergaben sich stark abweichende Meßergebnisse, welche wahrscheinlich mit Verwerfungen erklärt werden müssen.

Die Messungen erlauben Rückschlüsse auf eine Verkippung des gesamten Tertiärblockes um die Längsachse der Insel nach E. Daraus läßt sich unter der Voraussetzung, daß Verwerfungen größerer Sprunghöhe fehlen, ein maximaler Ausstrich tertiären Gesteins von rund 500 m Mächtigkeit auf der Insel ermitteln (vgl. Abb. 24a), und es ergibt sich, daß die ältesten Gesteine am Westfuß des zentralen Höhenrückens, die jüngsten aber entlang seiner Ostflanke ausstreichen. Dies stimmt auch mit der Verteilung der massigen, spröden Kalke und des „caliche“ recht gut überein. Die Verkippung der Insel muß nach Ablagerung der jüngsten Tertiärkalke, aber noch vor Bildung der höchsten, dem Pleistozän zugeschriebenen Terrassen stattgefunden haben.

Trotz zahlreichen Störungsbrüchen ist es in der San Andrés-Formation, abgesehen vom Nordende der Insel, zu keinen größeren Verstellungen gekommen; solche müßten sich in stark wechselnden Streich- und Fallrichtungen ausdrücken. Man kann daher annehmen, daß es sich bei den beobachteten Störungen lediglich um Bruchspalten ohne größere Versetzung, ähnlich wie im Pleistozän, handelt. In vielen Fällen dürfte es sich um Aufschlüsse solcher pleistozänen Störungen in tertiärem Gestein handeln.

Am Inselberg „Perry“ ist unmittelbar neben dem Landestreifen eine Diskordanz innerhalb des tertiären Gesteins aufgeschlossen. Hier wird splittriger, weißer, offenbar stark umkristallisierter Kalk von pulvrigem, weißem Kalk mit scharfer Grenze überlagert. Offensichtlich handelt es sich um eine Abrasionsform, welche sich während des Tertiärs bildete. Leider konnten an dieser Stelle weder unterhalb noch oberhalb der Diskordanz Fossilien gefunden werden, so daß eine genauere Datierung nicht möglich ist. Die Diskordanz könnte Hinweis auf eine vorübergehende tektonische Heraushebung der Insel während des Tertiärs sein.

Durch die Verkippung der Insel und die tief eingeschnittenen Erosionsformen ist die San Andrés-Formation im Gegensatz zur San Luis-Formation und zum rezenten Riffkomplex nicht parallel zu geologischen Zeitflächen aufgeschlossen, sondern die Entwicklung der geologischen Struktur kann — wenn auch nur in begrenzten Abschnitten — über eine beträchtliche Zeitspanne verfolgt werden.

6.2. Beschreibung des tertiären Riffkomplexes

Neben den erwähnten lithologischen Unterschieden ist innerhalb der tertiären Ablagerungen eine noch deutlichere Differenzierung durch die Fazies ausgebildet. Es überwiegen Lagunenablagerungen mit Mollusken, welche teilweise *in situ* eingebettet wurden. Daneben treten in unterschiedlicher Verbreitung Rasen verzweigter Korallen von mehreren Metern bis zu mehreren Dutzend Metern seitlicher Erstreckung auf (Taf. 11, Fig. e). Sie werden oftmals nicht über einen halben Meter mächtig. Lediglich im Bereich von „Sam Wright Hill“ wurden einige Flecken mit massiven und dickästigen Korallen gefunden, die sich wahrscheinlich noch am ehesten mit manchen Fleckenriffen in der heutigen Lagune vergleichen ließen.

Der allseitige steile Abfall am Außenabhang des Insularschelfes bis in Tiefen von mehr als 800 m und das Vorherrschen von Lagunenablagerungen im Bereich fast

sämtlicher Aufschlüsse zeigt, daß hier offensichtlich eine atollartige Riffstruktur tertiären Alters vorliegt, welche heute nur in ihrem westlichen Lagunenbereich aufgeschlossen liegt. Die peripheren Riffablagerungen des Atolles, vor allem diejenigen des hypothetischen Außenriffes, werden heute durch pleistozäne und rezente Bildungen verdeckt. Ein Außenriff muß aber ausgebildet gewesen sein, denn es ist undenkbar, daß sich Lagunenablagerungen relativ flachen Wassers auf einem ozeanischen Seeberg ungestört ablageren und dabei einen riffartig steilen Außenabhang ausbilden konnten.

6.2.1. Lagune

„Duppy Gully“

Besonders ausgeprägte Lagunenablagerungen treten im weiteren Bereich von „Duppy Gully“ sowohl nördlich als auch südlich von „Big Pond“ auf. Im Jahre 1968 war das Gestein hier durch frisch ausgeschachtete Wasserleitungsgräben gut aufgeschlossen. Es fanden sich in leicht mergeligen, korallenfreien Ablagerungen zahlreiche Ostreiden, die auf weite Erstreckung das Gestein durchsetzen. Die gute Erhaltung der Schalen erlaubte eine nähere Bestimmung. Es handelt sich in erster Linie um großwüchsige Vertreter der Gattung *Pycnodonte*, welche den Schalenhabitus einer *Crassostrea* angenommen haben. Daneben treten etwas weniger häufig ebenfalls großwüchsige Exemplare von *Hytissa* auf*). Außer den genannten Formen fanden sich hier noch *Solen* sp. und verschiedene *Cardiidae*.

Steinbruch auf der Westseite der Straße „Cove Hill“ — „Southwest Cove“

Die Gesteinsausbildung entspricht dem „caliche“. Es überwiegen hier Lamellibranchiaten, Gastropoden treten stärker zurück. Seeigel und Korallen fanden sich nur in Einzelexemplaren. Bei den Mollusken sind mit Ausnahme der Ostreiden und Pectiniden sämtliche Schalen nur als Abdrücke erhalten. Im einzelnen wurden folgende Fossilien gefunden:

Anthozoa

Acropora sp.

Gastropoda

„*Natica*“ sp.

Xenophora sp.

Strombus sp.

Semicassis sp.

?*Fasciolaria* sp.

Oliva ssp.

Conus sp.

Bulla sp.

Lamellibranchiata

Pectinidae, versch. Gattungen

Chlamys (*Argopecten*) sp.

Spondylus sp.

Pycnodonte sp.

Ostrea sp.

Anodontia (*Anodontia*) sp.

Cardiidae (unbest. Gattung)

Solen sp.

Veneridae (versch. unbest. Gattungen)

Chione sp.

Teredo sp.

Echinoidea

Clypeaster sp.

Echinolampas sp. (auf „Cove Hill“)

*) Für die Gattungsbestimmungen sei Herrn Dr. W. SIEWERT (Stuttgart) herzlich gedankt.

Sämtliche Fossilien fanden sich horizontal und vertikal ziemlich gleichmäßig verbreitet. Neben den Muscheln fallen besonders die fossilisierten Reste der Bohrmuschel *Teredo* auf, welche rezent vor allem im Holz lebt. Möglicherweise kann ihr Auftreten als Hinweis dafür gewertet werden, daß in der tertiären Lagune von San Andrés Treibholz zur Ablagerung kam.

Steinbruch nahe der katholischen Kirche in „North End“ („Misión Católica“)

Auch hier sind die Mollusken im „caliche“ nur als Abdrücke erhalten. Die in der Regel zweiklappig eingebetteten Muschelschalen sind ein Hinweis auf ruhige Ablagerungsbedingungen und fehlende Umlagerung der Sedimente. Korallen fehlen hier offenbar vollständig. Es fanden sich folgende Molluskenreste:

<i>Strombus</i> sp.	<i>Dosinia</i> sp.
<i>Conus</i> sp.	<i>Chione</i> sp.
<i>Anodontia</i> (<i>Anodontia</i>) sp.	Cardiidae (unbest. Gattung)

„Mission Hill“

Im Bereich von „Mission Hill“ fanden sich am Lagunengestein des „caliche“ *Clypeaster lanceolatus* und *C. concavus* sowie *Spondylus* und *Ostrea*. Auch verzweigte Melobesien treten auf. *Goniopora* bildet als einzige Koralle am Straßenanschnitt unmittelbar unterhalb der Kirche verschiedene großwüchsige, massige bis inkrustierende Kolonien.

Steinbruch im SE des Landestreifens

Einen guten Aufschluß in Lagunenablagerungen bildet der Steinbruch im SE des Landestreifens in etwa 500 m Entfernung vom Flughafengebäude. Das Gestein gehört zu den massigen Kalken, welche im Liegenden des „caliche“ auftreten. Neben Mollusken wurden hier auch verschiedene Korallenarten angetroffen. Sämtliche Fossilien sind nur als Hohlformen erhalten. Die Erhaltung der Abdrücke ist so vollkommen, daß in den durch Auflösung der Schalen und Korallenkolonien gebildeten Hohlräumen nicht selten sämtliche ursprünglichen Hohlformen, darunter feinste Bohrgänge, körperlich überliefert sind. Es fanden sich folgende Formen:

Anthozoa	Gastropoda
<i>Stylophora</i> cf. <i>imperatoris</i>	<i>Astraea</i> sp. auf <i>Montastrea limbata</i>
<i>Stylophora</i> <i>monticulosa</i>	<i>Turritella</i> sp.
<i>Agaricia</i> cf. <i>undata</i>	<i>Strombus</i> sp.
<i>Agaricia</i> ssp.	<i>Cypraea</i> sp.
<i>Helioseris</i> cf. <i>cucullata</i>	<i>Conus</i> sp.
<i>Leptoseris</i> sp.	
<i>Diploria</i> cf. <i>labyrinthiformis</i>	Lamellibranchiata
<i>Tysanus excentricus</i>	<i>Lithophaga</i> sp.
<i>Teleiphyllia</i> sp.	<i>Spondylus</i> sp.
<i>Colpophyllia</i> ssp.	<i>Pitar</i> sp.
<i>Montastrea limbata</i>	<i>Pholadomya</i> sp.
? <i>Trachyphyllia</i> sp.	
<i>Dichocoenia</i> (<i>Dichocoenia</i>) sp.	
<i>Scolymia</i> sp.	

6.2.2. Korallenrasen

Korallenrasen-Bildungen wurden von „Sam Wright Hill“ bis in die Gegend von „Mission Hill“ festgestellt. Sie treten sowohl in stratigraphisch höheren als auch tieferen Lagen auf, scheinen aber innerhalb des „caliche“ weiter nach N zu reichen als in den darunterliegenden, massigen Kalken. In der Regel handelt es sich um Rasen feinverzweigter Korallen, vor allem von *Porites* sp. und *Stylophora* sp., welche unterschiedliche horizontale Ausdehnung erreichen können. Nur örtlich gesellen sich in sehr begrenztem Umfang zu den feinverzweigten auch massige Korallen. Stellenweise tritt der Korallenrasen in mehreren Lagen auf, doch scheinen manche Rasenbildungen nur von einer Korallengeneration besiedelt worden zu sein. Die stratigraphisch tiefsten Korallenrasen, bestehend aus *Stylophora imperatoris* und feinverzweigten *Porites* sp. wurden am Westfuß des „Sam Wright Hill“, die stratigraphisch höchsten im N von „Mission Hill“ festgestellt.

Straßeneinschnitt bei „Harmony Hall Hill“

Innerhalb des „caliche“ war hier im Straßengraben ein einziger kleiner Korallenrasen aufgeschlossen, welcher folgende Fossilien lieferte:

A n t h o z o a	L a m e l l i b r a n c h i a t a
<i>Siderastrea</i> cf. <i>siderea</i>	Pectinidae (unbest. Gattung)
<i>Porites</i> (<i>Synaraea</i>) cf. <i>macdonaldi</i>	<i>Spondylus</i> sp.
<i>Montastrea</i> sp.	E c h i n o i d e a
	<i>Echinolampas</i> sp.

„Lions Hill“

An einem Wegeinschnitt der „Duppy Gully Road“ fanden sich innerhalb des „caliche“, in einem nur wenige Meter ausgedehnten Korallenrasen, folgende Formen:

<i>Acropora</i> sp.	<i>Porites</i> <i>toulai</i>
<i>Astreopora</i> sp.	<i>Montastrea</i> <i>costata</i>
<i>Siderastrea</i> <i>conferta</i>	? <i>Trachyphyllia</i> sp.

Höhenrücken ca. 1 km WNW von der katholischen Kirche in „Sound Bay“

Hier sind verschiedene kleine Korallenrasen im „caliche“ entlang eines Fußpfades aufgeschlossen, welcher nach N in Richtung „Lions Hill“ führt. Sie lieferten trotz schlechter Aufschlußverhältnisse neben *Clypeaster caudatus* und Pectiniden folgende Korallen:

<i>Actinastrea</i> sp.	<i>Porites</i> (<i>Porites</i>) cf. <i>douvillei</i>
<i>Stylophora imperatoris</i>	<i>Porites</i> (<i>Porites</i>) <i>toulai</i>
<i>Stylophora macdonaldi</i>	<i>Porites</i> (<i>Porites</i>) sp.
<i>Siderastrea conferta</i>	<i>Montastrea</i> cf. <i>imperatoris</i>
<i>Siderastrea</i> sp.	<i>Montastrea</i> cf. <i>cavernosa</i>
<i>Goniopora</i> sp.	<i>Montastrea bainbridgensis</i>
	<i>Montastrea</i> cf. <i>canalis</i>

Bachriß im W von „Sound Bay“

Von „Sound Bay“ verläuft ein Pfad in westlicher Richtung über „Pepper Hill“ nach „Southwest Cove“. Etwa 250 m von „Sound Bay“ führt der Weg an einem

Bachriß mit bis zu 3 m tiefen Auskolkungen vorbei, welche sich in den hier stark mergeligen „caliche“ eingeschnitten haben. An den Wänden der Aufschlüsse fanden sich zahlreiche verzweigte Kolonien, die hier einen Rasen bildeten. Infolge von Sedimentkompaktion waren sie jedoch durchweg zerbrochen. Im Aufschluß selbst und im Schutt wurden neben Pectiniden folgende Korallen aufgelesen (zahlenmäßig überwiegen *Stylophora* und *Porites*):

<i>Stylophora imperatoris</i>	<i>Astreopora</i> ssp.
<i>Stylophora</i> cf. <i>imperatoris</i>	<i>Pavona panamensis</i>
<i>Stylophora monticulosa</i>	<i>Porites</i> (<i>Porites</i>) <i>baracoensis</i>
<i>Stylophora</i> cf. <i>canalis</i>	<i>Porites</i> (<i>Porites</i>) <i>toulai</i>
<i>Stylophora ponderosa</i>	<i>Porites</i> ssp.
<i>Stylophora</i> ssp.	<i>Leptoseris</i> sp. juv.
<i>Acropora</i> cf. <i>panamensis</i>	<i>Montastrea</i> sp.
<i>Acropora saludensis</i>	

6.2.3. Riffe

Riffartige Bildungen fanden sich lediglich am Süden des Tertiärausstriches am „Sam Wright Hill“ und in dessen näherer Umgebung. Es handelt sich dabei im wesentlichen um fleckenriffartige Ansammlungen etwa kopfgroßer, hemisphärischer Korallen, wie vor allem *Diploastrea*, *Montastrea* und *Goniopora*, daneben aber auch um kleinere Fleckenriffe mit dickstämmigen Vertretern von *Porites* (*Porites*) sp. Dazwischen treten ebenfalls Korallenrasen auf. Im Bereich der Fleckenriffe und Korallenrasen wurden am „Sam Wright Hill“ und in „Scoplin Gully“ folgende Fossilien angetroffen:

Anthozoa

Stylophora cf. *imperatoris*
Astreopora sp.
Siderastrea cf. *siderea*
Goniopora ssp.
Porites (*Porites*) ssp.
Porites cf. *astreoides*
Montastrea cf. *cavernosa*
Montastrea sp. (mit seithl. komprim. Kelchen)
Diploastrea crassolamellata
Diploastrea cf. *crassolamellata*

Gastropoda

„*Natica*“ sp.
Strombus sp. (Größe wie *S. gigas*)

Lamellibranchiata

Chlamys (*Aequipecten*) sp.
Pectinidae (unbest. Gattungen)
Spondylus chiriquiensis
Spondylus cf. *chiriquiensis*

6.3. Fazuell-ökologische Analyse der tertiären Kalke

Faziesverteilung und submarines Relief

Die auffallend geringe fazielle Differenzierung innerhalb der Lagunenablagerungen dürfte wohl in erster Linie auf das Fehlen eines Kleinreliefs zurückzuführen sein, so daß sich hier keine aufragenden Fleckenriffe wie in der rezenten Lagune ausbilden konnten. Die ausgeglichene Lagunentopographie scheint Ergebnis einer lang anhaltenden, gleichmäßigen Sedimentation zu sein, welche im Gegensatz zu den quartären Riffbildungen nicht von Phasen der Emergenz und Verkarstung unterbrochen war. Hinweise auf einen solchen weithin ebenen Lagunenboden geben die aus-

gedehnten, aber geringmächtigen Korallenrasen und auch die stärker verfestigten Horizonte, welche gleichfalls als Sedimentoberflächen und damit als Zeitgrenzen angesehen werden müssen.

Zweifellos ist jedoch ein gewisses Großrelief mit leichtem Gefälle vom hypothetischen Außenriff zum zentralen Lagunenbecken hin vorhanden gewesen. Dafür spricht schon alleine das geringe Energieniveau der Lagunenablagerungen, welches auf den Schutz einer aufragenden Riffstruktur hinweist. Auch ist zu vermuten, daß die Bereiche, in denen Korallenrasen auftreten, generell flacher lagen als die reine Molluskenfazies. Das würde bedeuten, daß das Wasser im S des heutigen Tertiärausstriches flacher war als im N und daß von dort die Verflachung bei fortschreitender Sedimentation nach N übergriff. Wahrscheinlich erfolgte sie ähnlich wie bei rezenten Atollen durch allseitigen Sedimenttransport vom Außenriff in Richtung auf die zentrale Lagune. Für eine gesicherte Aussage hierüber fehlen Aufschlüsse im N und E des tertiären Atolles.

Wassertiefe zur Ablagerungszeit

Nimmt man an, daß die Riffkorallen im Jungtertiär eine ähnliche Tiefenverbreitung besaßen wie ihre nächsten rezenten Verwandten, dann sind gewisse Aussagen über die Tiefe der tertiären Lagune möglich. Das gemeinsame Auftreten von *Agaricia* cf. *undata*, *Scolymia* sp., *Diploria* cf. *labyrinthiformis* und *Colpophyllia* ssp. in den Lagunenablagerungen der massigen Kalke läßt vermuten, daß zur Ablagerungszeit Beleuchtungsverhältnisse geherrscht haben, welche der *natans*-Tiefenzone des heutigen Tiefwasser-Riffbereiches entsprechen. Fehlende Toneinlagerungen in den Kalken an dieser Lokalität zeigen, daß hier nicht mit einer Kontraktion der Tiefenzonen durch anorganische Wassertrübung zu rechnen ist. Deshalb kann man wohl an dieser Stelle mit einer Wassertiefe zwischen 20 und 55 m rechnen. Auch das häufige Auftreten der Pycnodonten in gewissen Bereichen des Lagunenbeckens deutet eher auf den angegebenen Tiefenbereich als auf seichtes Wasser. Im Bereich der Fleckenriffe am „Sam Wright Hill“ dürfte das Wasser allerdings wesentlich flacher gewesen sein.

Wellenexposition

Die meisten der angetroffenen Korallen sprechen für ein stark wellengeschütztes Milieu, wie es im tieferen Wasser und im Schutze eines zusammenhängenden Riffwalles auftritt. Unter der Voraussetzung, daß die verzweigten *Porites*-Arten im Jungtertiär schon vergleichbare hydrodynamische Bedingungen wie heute bevorzugten, könnte man annehmen, daß die Wellenexposition in den heute aufgeschlossenen Fleckenriffen der *annularis*- und der *porites*-Wellenzone entsprach. Die Wellenzonen stärkerer Wellenexposition müssen außerhalb der heute zugänglichen Tertiärablagerungen nahe der Außenkante des heutigen Insularschelfes gelegen haben. Die dünnästigen *Acropora*-Arten, welche örtlich als Begleitfauna in den Korallenrasen auftreten, sind stets in kleinere Fragmente zerbrochen, was jedoch nicht so sehr auf Welleneinwirkung, sondern eher auf die Kompaktion des hier meist mergeligen Sedimentes zurückzuführen ist.

Abrasion und andere ökologische Faktoren

Die schon erwähnte intratertiäre Diskordanz im Bereich der Lokalität „Perry“ wird hier als Abrasionsfläche interpretiert. Sie bildet den einzigen Hinweis auf Abrasion innerhalb der tertiären Ablagerungen.

Wie schon aus den Ablagerungsverhältnissen in der Lagune abzuleiten ist, dürfte der Neigungswinkel des submarinen Reliefs im heute aufgeschlossenen Bereich kaum mehr als wenige Grad betragen haben. Eine Zonenvertretung, wie sie an steilen Geländekanten auftritt, war deshalb nicht zu erwarten und wurde auch nicht angetroffen.

Palökologische Hinweise auf Strömungen, Wasserverflachung und Weideselektion wurden nicht festgestellt.

6.4. Altersstellung der Tertiär-Ablagerungen

Auf Grund der Mollusken- und Foraminiferenfauna der „caliche“-Ablagerungen stufen ROYO Y GOMEZ (in SARMIENTO-ALARCÓN & SANDOVAL 1953, Anexo No. 1), HUBACH (1956, 15) und BÜRGL (1961, 17–19) die gesamten Tertiärgesteine von San Andrés in das Miozän ein. Die Funde von *Diploastrea crassolamellata* im südlichen Gipfelbereich des „Sam Wright Hill“ lassen jedoch vermuten, daß der tiefste auf San Andrés aufgeschlossene Profilschnitt bereits dem Oligozän angehört. Nach VAUGHAN (1919, 476) ist *Diploastrea crassolamellata* „... one of the most important species of the American Oligocene, for it seems to occupy almost the identical horizon everywhere it has yet been found. Its stratigraphic position, as at present known, is middle Oligocene . . .“. Die übrigen, zusammen mit *Diploastrea* auftretenden Korallen *Montastrea* cf. *cavernosa*, *Montastrea* sp., *Goniopora* sp., *Porites* (*Porites*) sp. erscheinen stratigraphisch wenig signifikant. Insbesondere wurden keine Kolonien gefunden, welche zur Gattung *Antiguastrea* gehören. Dies würde ein oligozänes Alter zusätzlich stützen.

Auch die korallenführenden Lagunenablagerungen, welche im Steinbruch SE des Landestreifens aufgeschlossen sind, gehören auf Grund der Petrographie zu den stratigraphisch tiefsten Gesteinen von San Andrés. Die geborgene Korallenfauna würde hier, gemessen an den Untersuchungen von FROST (1972, 463) in Jamaika, einem oligozänen Alter zumindest nicht widersprechen.

Für eine sichere Aussage über ein mögliches oligozänes Alter der ältesten Gesteine von San Andrés wären weitere, vor allem mikropaläontologische Untersuchungen nötig. Das miozäne Alter des „caliche“ hingegen erscheint durch die Untersuchungen der oben genannten Autoren gesichert und steht auch in guter Übereinstimmung mit der angetroffenen Korallenfauna.

7. Bemerkungen zur fossilen und rezenten Fauna

Bei den Geländeuntersuchungen auf San Andrés wurde besonderes Augenmerk auf das Auftreten, die Verbreitung und die Häufigkeit von Korallen, Seeigeln und Mollusken gelegt. Die aufgesammelten und bestimmten Formen sind in den Faunenlisten der Tabellen 6–10 wiedergegeben. Dort, wo es sinnvoll erschien, wurden quantitative Aufsammlungen durchgeführt oder doch wenigstens der relative Anteil der häufigsten Vertreter abgeschätzt.

7.1. Die Fauna des Tertiärs

7.1.1. Korallen

Die tertiäre Korallenfauna von San Andrés umfaßt mindestens 21 Gattungen mit rund 40 verschiedenen Arten (Tab. 6), von denen die Mehrzahl in den miozänen Ablagerungen des „caliche“ geborgen wurden. Besonderes Augenmerk verdient das

Auftreten von (?) *Trachyphyllia*, vor allem in den stratigraphisch tieferen, möglicherweise oligozänen Horizonten der San Andrés-Formation. Hierzu schreibt J.-P. CHEVALIER (Paris), welchem ein Teil der Originalstücke vorgelegen hat: „Je pense sans certitude (puisque vos échantillons sont des moules) que ces fossiles appartiennent au genre *Trachyphyllia*. Ce dernier peut être monocentrique ou polycentrique. *T. geoffroyi* actuelle du Pacifique par exemple se présente sous l'aspect d'un polypiérite simple ou bilobé ou encore méandroïde; cette morphologie n'est pas seulement une question d'âge mais aussi d'un gradient de croissance différent d'une localité à l'autre. De sorte que je crois que les 4 échantillons appartiennent à la même espèce de *Trachyphyllia*. D'ailleurs il y a peu de différence je pense entre *Antillophyllia* et *Trachyphyllia*. *Trachyphyllia* jusqu'ici n'a été reconnu que dans le Néogène d'Indonesie et vit actuellement dans l'Indo-Pacifique. Sa présence ici est donc d'un grand intérêt.“

Bemerkenswert scheint das offensichtlich vollständige Fehlen von *Pocillopora* in den Ablagerungen der San Andrés-Formation. Diese Korallengattung zeigt eine weite Verbreitung im Oligozän bis Miozän Westindiens und wurde vom Verfasser auch in den miozänen Ablagerungen der Insel Providencia etwa 80 km NNE von San Andrés angetroffen.

Infolge des ausgedehnten Vorkommens von Korallenrasen in der San Andrés-Formation überwiegen hier zahlenmäßig die feinverzweigten, rasenbildenden Formen von *Stylophora* und *Porites*, während ästige Formen wie *Acropora* allgemein stärker zurücktreten. Es fehlen offenbar vollständig die an die Brandung des Außenriffes angepassten Formen, welche die ökologischen Nischen der rezenten *Acropora palmata*, *Diploria strigosa* und *Millepora* einnahmen. Dies wird als erneuter Hinweis dafür gewertet, daß das wellenexponierte Außenriff des tertiären Atolles heute abgetragen ist und seine Basis von pleistozänen Ablagerungen verdeckt wird.

Tab. 6. Liste der auf San Andrés gesammelten tertiären Korallen.

List of Tertiary corals collected on San Andrés Island.

Klasse Anthozoa EHRENBURG, 1834

Unterklasse Zoantharia DE BLAINVILLE, 1830

Ordnung Scleractinia BOURNE, 1900

Unterordnung Astrocoeniina VAUGHAN & WELLS, 1943

Familie Astrocoeniidae Koby, 1890

Actinastrea sp.

Familie Pocilloporidae GRAY, 1842

Stylophora imperatoris VAUGHAN, 1919

Stylophora cf. *imperatoris* VAUGHAN, 1919

Stylophora macdonaldi VAUGHAN, 1919

Stylophora cf. *canalis* VAUGHAN, 1919

Stylophora ponderosa VAUGHAN, 1900

Stylophora monticulosa HOFFMEISTER, 1925

Stylophora ssp.

Familie Acroporidae VERRILL, 1902

Acropora cf. *panamensis* VAUGHAN, 1919

Acropora saludensis VAUGHAN, 1919

Acropora sp.

Astreopora sp.

Unterordnung Fungiina VERRILL, 1865

Familie Agariciidae GRAY, 1847

Agaricia cf. *undata* (ELLIS & SOLANDER, 1786)

Agaricia sp.

- Pavona panamensis* VAUGHAN, 1919
Helioseris cf. *cucullata* (ELLIS & SOLANDER, 1786)
Leptoseris sp.
Leptoseris sp. juv.
 Familie *Siderastreidae* VAUGHAN & WELLS, 1943
Siderastrea cf. *siderea* (ELLIS & SOLANDER, 1786)
Siderastrea conferta (DUNCAN, 1863)
Siderastrea sp.
 Familie *Poritidae* GRAY, 1842
Goniopora ssp.
Porites (*Porites*) cf. *baracoensis* VAUGHAN, 1919
Porites (*Porites*) cf. *douvillei* VAUGHAN, 1919
Porites (*Porites*) *toulai* VAUGHAN, 1919
Porites (*Porites*) cf. *toulai* VAUGHAN, 1919
Porites (*Porites*) cf. *astreoides* LAMARCK, 1816
Porites (*Porites*) ssp.
Porites (*Synaraca*) cf. *macdonaldi* VAUGHAN, 1919
 Familie *Faviidae* GREGORY, 1900
Diploria cf. *labyrinthiformis* (LINNÉ, 1758)
Tysanus excentricus DUNCAN, 1863
Tysanus sp.
Teleiophyllia sp.
Colpophyllia sp. I
Colpophyllia sp. II
Montastrea limbata (DUNCAN, 1863)
Montastrea cf. *imperatoris* (VAUGHAN, 1919)
Montastrea cf. *cavernosa* (LINNÉ, 1766)
Montastrea bainbridgensis (VAUGHAN, 1919)
Montastrea costata (DUNCAN, 1863)
Montastrea cf. *canalis* (VAUGHAN, 1919)
Montastrea sp. (mit seitlich stark komprimierten Kelchen)
Montastrea ssp.
Diploastrea crassolamellata (DUNCAN, 1863)
Diploastrea cf. *crassolamellata* (DUNCAN, 1863)
 ? *Trachyphyllia* sp.
 Familie *Meandrinidae* GRAY, 1847
Didiocoenia (*Didiocoenia*) sp.
 Familie *Mussidae* ORTMANN, 1890
Scolymia sp. *)

7.1.2. Mollusken und Seeigel

Durch diagenetische Vorgänge wurden die Schalen der meisten Mollusken weg-
gelöst, so daß die Fossilien in der Regel nur als Abdrücke oder Steinkerne über-
liefert sind. Infolge der überwiegend schlechten Erhaltung der tertiären Mollusken
und wegen des Fehlens von geeignetem Vergleichsmaterial waren in den meisten
Fällen nur Gattungsbestimmungen sicher möglich (Tab. 7). Im Falle der *Pectinidae*
und *Cardiidae* wurden aus denselben Gründen mit einer Ausnahme keine Gattungs-
bestimmungen vorgenommen. Einige Artbestimmungen von tertiären Mollusken
finden sich bei ROYO Y GOMEZ (in SARMIENTO-ALARCÓN & SANDOVAL 1953) und
BÜRGL (1961, 18).

*) Nach einem frdl. brieflichen Kommentar von J. W. WELLS (Ithaca) zu einem übersandten Foto
bestehen bei dem vorliegenden Exemplar kaum Zweifel, daß es sich um einen Abdruck von *Scolymia*,
möglicherweise um eine *S. cubensis* nahestehende Form, handelt.

In einem abgegrenzten Bereich der Steinbruchwand nahe der katholischen Kirche von „North End“ („Misión Católica“) wurden 232 Muschelschalen bzw. deren Abdrücke bestimmt und ausgezählt. Es ergaben sich hier 66% *Cardiidae*, 19,8% *Chione* und 14% *Veneridae* (ohne *Chione*, einschließlich von mindestens 6% *Dosinia*). In der Wand des Steinbruches auf dem Wege zwischen „Cove Hill“ und „Cove Seaside“ gehörten von 38 Muschelschalen 22 zu den *Cardiidae*, 10 zu *Chione*, 3 zu den *Pectinidae*, 2 zu den *Veneridae* (außer *Chione*) und eine Schale zu den *Ostreidae*. In der Regel werden in den Ablagerungen etwa doppelt so viele Abdrücke von Bivalven als von Schnecken angetroffen. An anderen Stellen wurden auch stark abweichende Verhältnisse festgestellt. Besonders dort, wo *Pycnodonte* und *Hyotissa* gesteinsbildend auftreten, wurden prozentual nur sehr wenig andere Mollusken beobachtet.

Tab. 7. Liste der auf San Andrés gesammelten tertiären Mollusken.

List of Tertiary mollusks collected on San Andrés Island.

Klasse Gastropoda

- Familie Turbinidae
Astraea sp.
- Familie Naticidae
„*Natica*“ sp.
- Familie Turritellidae
Turritella sp.
- Familie Xenophoridae
Xenophora sp.
- Familie Strombidae
Strombus ssp.
- Familie Cypraeidae
Cypraea sp.
- Familie Cassididae
Semicassis sp.
- Familie Fascioliariidae
? *Fasciolaria*
- Familie Olividae
Oliva ssp.
- Familie Conidae
Conus ssp.
- Familie Bullidae
Bulla sp.

Klasse Bivalvia

- Familie Mytilidae
Lithophaga sp.
- Familie Pectinidae
Chlamys (*Argopecten*) sp.
verschiedene unbest. Gattungen
- Familie Spondylidae
Spondylus chiriquiensis OLSSON, 1922
Spondylus cf. *chiriquiensis* OLSSON, 1922
Spondylus sp.
- Familie Gryphaeidae
Pycnodonte sp.
Hyotissa sp.
- Familie Ostreidae
Ostrea sp.

- Familie Lucinidae
Anodontia (Anodontia) sp.
- Familie ? Ungulinidae
? *Diplodonta* sp.
- Familie Cardidae
verschiedene unbest. Gattungen
- Familie Solenidae
Solen sp.
- Familie Veneridae
Pitar sp.
Dosinia sp.
Chione sp.
verschiedene unbest. Gattungen
- Familie Pholadidae
1 unbest. Gattung
- Familie Teredinidae
Teredo sp.
- Familie Pholadomyidae
Pholadomya sp.

Die tertiären Seeigel (Tab. 8) von San Andrés wurden fast ausschließlich in den stratigraphisch höheren, leicht mergeligen Ablagerungen des „caliche“ angetroffen. Sie gehören alle zu den irregulären Gattungen und sind wohl als typische Besiedler von Lockersediment anzusehen. Zahlenmäßig dominiert *Clypeaster*, vereinzelt wurde auch *Echinolampas* angetroffen. *Schizaster (Paraster)* sp. fand sich als Einzelexemplar in den massigen Kalken von „North Cliff“, welche ebenfalls Lagunenablagerungen darstellen.

Tab. 8. Liste der auf San Andrés gesammelten tertiären Seeigel.

List of Tertiary echinoids collected on San Andrés Island.

- Klasse Echinoidea LESKE, 1778
- Familie Clypeasteridae AGASSIZ, 1835
Clypeaster lanceolatus COTTEAU, 1897
Clypeaster cf. lanceolatus COTTEAU, 1897
Clypeaster concavus COTTEAU, 1875
Clypeaster caudatus JACKSON, 1922
Clypeaster sp. (Bruchstück)
- Familie Echinolampidae GRAY, 1851
Echinolampas sp.
- Familie Schizasteridae LAMBERT, 1905
Schizaster (Paraster) sp.

7.2. Fauna des Quartärs

7.2.1. Korallen (Hydrozoa und scleractine Anthozoa) Regionaler Faunenvergleich

Die auf und um San Andrés angetroffene jungpleistozäne Korallenfauna (Tab. 9) erscheint mit 35 Arten und Varietäten ungewöhnlich formenreich. Vergleichsweise wurden im Key Largo Limestone in Florida 14 Korallenarten (STANLEY 1966), in einem pleistozänen Fleckenriff von Andros Island / Bahamas 11 Arten (NEWELL & RIGBY 1957, 58), im Pleistozän von Panamá 19 Formen, bei Monkey Point und Limón in Costa Rica (VAUGHAN 1919, 225) insgesamt 9 Formen, in Providencia 11 Arten (eigene Aufsammlungen) sowie auf den niederländischen Inseln unter dem

Winde 18 alt- und jungquartäre Formen (VAUGHAN 1901, 12) gefunden. Der Reichtum der pleistozänen Korallenfauna von San Andrés beruht vor allem auf dem breiten Ausstrich pleistozänen Gesteines auf der Inselterrasse, in deren Bereich die Korallen unter vielfältigen ökologischen Bedingungen gelebt haben. Außerdem wurde auf San Andrés verhältnismäßig viel Zeit für eine möglichst vollständige Erfassung aller auftretenden Arten verwandt. Dennoch könnte bei noch intensiverer Suche die Faunenliste wahrscheinlich erweitert werden und stünde dann möglicherweise an Umfang kaum hinter der rezenten Flachwasserfauna der Insel zurück.

Tab. 9. Liste der auf San Andrés gesammelten jungpleistozänen Korallen (Hydrozoa und scleractine Anthozoa).

List of late Pleistocene stony corals (Hydrozoa and Anthozoa) collected on San Andrés Island.

Klasse Hydrozoa OWEN, 1843

Ordnung Milleporina HICKSON, 1901

Familie Milleporidae FLEMING, 1901

Millepora alicornis LINNÉ, 1758

Klasse Anthozoa EHRENBERG, 1834

Ordnung Scleractinia BOURNE, 1900

Unterordnung Astrocoeniina VAUGHAN & WELLS, 1943

Familie Astrocoeniidae Koby, 1890

Stephanocoenia michelini MILNE-EDWARDS & HAIME, 1848

Familie Pocilloporidae GRAY, 1842

Pocillopora cf. *palmata* PALMER, 1928

Madracis decactis (LYMAN, 1859)

Madracis mirabilis (DUCHASSAING & MICHELOTTI, 1860)

Familie Acroporidae VERRILL, 1902

Acropora palmata (LAMARCK, 1816)

Acropora cervicornis (LAMARCK, 1816)

Familie Agaricidae GRAY, 1847

Agaricia agaricites (LINNÉ, 1758)

var. *agaricites*

var. *purpurea*

Agaricia sp.

Familie Siderastreidae VAUGHAN & WELLS, 1943

Siderastrea siderea (ELLIS & SOLANDER, 1786)

Siderastrea radians (PALLAS, 1766)

Familie Poritidae GRAY, 1842

Porites astreoides LAMARCK, 1816

Porites porites (PALLAS, 1766),

var. *divaricata*

var. *furcata*

Porites clavaria LAMARCK, 1816

Unterordnung Faviina VAUGHAN & WELLS, 1943

Familie Faviidae GREGORY, 1900

Favia fragum (ESPER, 1797)

Diploria clivosa (ELLIS & SOLANDER, 1786)

Diploria labyrinthiformis (LINNÉ, 1758)

Diploria strigosa (DANA, 1846)

Manicina areolata (LINNÉ, 1758)

Colpophyllia natans (MÜLLER, 1775)

Colpophyllia amaranthus (MÜLLER, 1775)

Montastrea annularis (ELLIS & SOLANDER, 1786)

Montastrea cavernosa (LINNÉ, 1766)

Familie Meandrinidae GRAY, 1847

Meandrina meandrites (LINNÉ, 1758)

- Dichocoenia stokesii* MILNE-EDWARDS & HAIME, 1848
Dichocoenia stellaris MILNE-EDWARDS & HAIME, 1857
Dendrogyra cylindrus EHRENBERG, 1834
 Familie *Mussidae* ORTMANN, 1890
Mussa angulosa (PALLAS, 1766)
Isophyllia multiflora VERRILL, 1902
Isophyllia cf. *sinuosa* (ELLIS & SOLANDER, 1786)
Isophyllastrea rigida (DANA, 1846)
Mycetophyllia lamarkiana MILNE-EDWARDS & HAIME, 1848
 Unterordnung *Caryophylliina* VAUGHAN & WELLS, 1943
 Familie *Caryophylliidae* GRAY, 1847
Eusmilia fastigiata (PALLAS, 1766)

Die Aufsammlungen im Bereich des rezenten Riffkomplexes erbrachten eine Korallenfauna von 49 Arten und Varietäten (Tab. 10). Diese Artenzahl liegt beträchtlich über derjenigen der kolumbianischen Festlandsküste bei Santa Marta, welche von ANTONIUS (1972) mit 33 scleractinen Korallenarten angegeben wird, entspricht aber in der Zahl etwa jener, welche von den Rosario-Inseln vor der kolumbianischen Küste (PFAFF 1969) angeführt wurde. Noch wesentlich artenreichere Korallenfaunen wurden im westindischen Raum lediglich aus den jamaikanischen Riffen (GOREAU & WELLS 1967) und von Panamá (PORTER 1972) bekannt. Die umfangreicheren Faunenlisten dieser beiden Lokalitäten dürften in erster Linie auf gründlicheren Aufsammlungen im Tiefwasser-Riffbereich beruhen.

Tab. 10. Liste der rezenten Korallen (Hydrozoa und scleractine Anthozoa) von San Andrés.

List of Recent stony corals (Hydrozoa and Anthozoa) from San Andrés Island.

- Klasse *Hydrozoa* OWEN, 1843
- Ordnung *Milleporina* HICKSON, 1901
 Familie *Milleporidae* FLEMING, 1901
Millepora alcornis LINNÉ, 1758
Millepora complanata LAMARCK, 1816
Millepora squarrosa LAMARCK, 1816
 Ordnung *Stylasterina* HICKSON & ENGLAND, 1905
 Familie *Stylasteridae* GRAY, 1847
Stylaster roseus (PALLAS, 1766)
- Klasse *Anthozoa* EHRENBERG, 1834
- Ordnung *Scleractinia* BOURNE, 1900
 Unterordnung *Astrocoeniina* VAUGHAN & WELLS, 1943
 Familie *Astrocoeniidae* Koby, 1890
Stephanocoenia michelini MILNE-EDWARDS & HAIME, 1848
Stephanocoenia sp. („*Plesiastrea goodei*“ VERRILL, 1902)
 Familie *Pocilloporidae* GRAY, 1842
Madracis decactis (LYMAN, 1859)
Madracis mirabilis (DUCHASSAING & MICHELOTTI, 1860)
Madracis sp. I (inkrust. Form)
Madracis sp. II (inkrust. Form)
 Familie *Acroporidae* VERRILL, 1902
Acropora palmata (LAMARCK, 1816)
Acropora cervicornis (LAMARCK, 1816)
Acropora prolifera (LAMARCK, 1816)
 Unterordnung *Fungiina* VERRILL, 1865
 Familie *Agariciidae* GRAY, 1847
Agaricia agaricites (LINNÉ, 1758)

var. *agaricites*

var. *purpurea*

var. *crassa*

Agaricia undata (ELLIS & SOLANDER, 1786)

Agaricia lamarki MILNE-EDWARDS & HAIME, 1851

Agaricia fragilis DANA, 1846

Helioseris cucullata (ELLIS & SOLANDER, 1786)

Helioseris sp.

Familie *Siderastreidae* VAUGHAN & WELLS, 1943

Siderastrea siderea (ELLIS & SOLANDER, 1786)

Siderastrea radicans (PALLAS, 1766)

Familie *Poritidae* GRAY, 1842

Porites astreoides LAMARCK, 1816

Porites branneri RATHBUN, 1888

Porites porites (PALLAS, 1766)

var. *divaricata*

var. *furcata*

Porites clavaria LAMARCK, 1816

Unterordnung *Faviina* VAUGHAN & WELLS, 1943

Familie *Faviidae* GREGORY, 1900

Favia fragum (ESPER, 1797)

Diploria clivosa (ELLIS & SOLANDER, 1786)

Diploria labyrinthiformis (LINNÉ, 1758)

Diploria strigosa (DANA, 1846)

Manicina areolata (LINNÉ, 1758)

Colpophyllia natans (MÜLLER, 1775)

Colpophyllia amaranthus (MÜLLER, 1775)

Montastrea annularis (ELLIS & SOLANDER, 1786)

Montastrea cavernosa (LINNÉ, 1766)

Familie *Rhizangiidae* D'ORBIGNY, 1851

Astrangia solitaria (LESUEUR, 1821)

Familie *Meandrinidae* GRAY, 1847

Meandrina meandrites (LINNÉ, 1758)

Dichocoenia stokesii MILNE-EDWARDS & HAIME, 1848

Dichocoenia stellaris MILNE-EDWARDS & HAIME, 1857

Dendrogyra cylindrus EHRENBERG, 1834

Familie *Mussidae* ORTMANN, 1890

Mussa angulosa (PALLAS, 1766)

Scolymia lacera (PALLAS, 1766)

Isophyllia sinuosa (ELLIS & SOLANDER, 1786)

Isophyllia multiflora VERRILL, 1902

Isophyllastrea rigida (DANA, 1846)

Mycetophyllia lamarkiana MILNE-EDWARDS & HAIME, 1848

Unterordnung *Caryophylliina* VAUGHAN & WELLS, 1943

Familie *Caryophylliidae* GRAY, 1847

Eusmilia fastigiata (PALLAS, 1766)

Fehlen und Auftreten bestimmter rezenter Scleractinier um San Andrés

Verschiedene in anderen rezenten westindischen Riffen häufige Korallen konnten innerhalb des Insularschelfes von San Andrés nicht nachgewiesen werden. Dabei handelt es sich um Formen, die bei Kenntnis ihrer bevorzugten Verbreitungsräume und gezielter Suche innerhalb eines Riffkomplexes kaum übersehen werden dürften, so daß wohl mit ihrem Fehlen um San Andrés gerechnet werden muß. Es handelt sich um die hermatypischen Gattungen *Cladocora*, *Solenastrea*, *Oculina* und um die aherma-

typische Gattung *Tubastrea*. In Tab. 11 ist die bekannte rezente Verbreitung dieser Korallen im Karibischen Meer wiedergegeben.

Tab. 11. Bekannte rezente Verbreitung der Korallengattungen *Cladocora*, *Solenastrea*, *Oculina* und *Tubastrea* im Karibischen Meer.

Distribution records of the scleractinian genera *Cladocora*, *Solenastrea*, *Oculina* und *Tubastrea* in the Caribbean Sea.

	<i>Cladocora</i>	<i>Solenastrea</i>	<i>Oculina</i>	<i>Tubastrea</i>
Islas del Rosario, Kolumbien (PFAFF 1969)	+	+	+	+
Santa Marta, Kolumbien (GEYER 1969 und eigene Beob.)	+	+	+	+
Curaçao, Aruba, Bonaire (Roos 1971)	—	+	—	+
Islas San Blas, Panamá (PORTER 1972)	+	?	+	+
Puerto Rico (ALMY & CARRIÓN-Torres 1963)	+	+	+	+
Jamaika (GOREAU & WELLS 1967)	+	+	+	+
Pedro Bank, Jamaika (ZANS 1958)	—	—	+	—
Britisch Honduras (STODDART 1962)	+	+	—	—
Kuba (DUARTE-BELLO 1963)	+	+	+	+
Providencia (eigene Beobachtung)	—	—	—	+

Alle genannten Gattungen fehlen nicht nur im rezenten, sondern auffallenderweise auch im jungpleistozänen Rifffkomplex von San Andrés. *Cladocora arbuscula* tritt im Bereich der Lagunenfazies auf den Rosario-Inseln recht häufig auf (eigene Beobachtung) und wurde auch von der kolumbianischen Festlandsküste und von Panamá bekannt. *Oculina* ist an der kolumbianischen Küste wenigstens vom Cabo de la Vela (Halbinsel La Guajira) bis zu den Rosario-Inseln nachgewiesen (eigene Beobachtungen) und wird auch aus Panamá und von der Pedro Bank etwa 600 km NE von San Andrés gemeldet. Die Ursache für das Fehlen dieser Gattungen um San Andrés und — mit Ausnahme von *Tubastrea* — auch um Providencia ist nicht ersichtlich.

Dendrogyra cylindrus, eine um San Andrés in geschützten Rifffabschnitten und auf submarinen Terrassen und Kliffs der Westküste verhältnismäßig häufige Koralle (GEISTER 1972a), fehlt in Panamá (PORTER 1972, 92) und fast an der gesamten kolumbianischen Küste. Immerhin fand sich ein einziges, kleines Exemplar vor Boca Chica bei Cartagena (persönl. Mitt. von Prof. Dr. R. PFAFF †), so daß die Koralle doch nicht vollständig auf den nördlichen und mittleren Bereich des Karibischen Meeres beschränkt ist, wie von PORTER (1972, 92) zunächst vermutet wurde.

Auftreten von *Pocillopora* im Pleistozän von San Andrés

Besondere Bedeutung kommt den Funden von *Pocillopora* im Jungpleistozän von San Andrés zu, da diese Riffforallen-Gattung nach bisheriger Kenntnis im westindischen Raum seit Ende Miozän als ausgestorben galt, während sie in der pleistozänen und rezenten Fauna des Indopazifiks eine weite Verbreitung hat. Um so bemerkenswerter ist deshalb der Nachweis dieser Koralle in pleistozänen Ablagerungen des Karibischen Meeres. Die Koralle tritt in jungpleistozänen Kalken von San Andrés fleckenweise im Übergangsbereich zwischen *annularis*-Wellenzone und Lagunenablagerungen auf. In unmittelbarer Nachbarschaft der *Pocillopora*-Kolonien fanden sich im selben Gesteinskomplex *Montastrea annularis*, *Acropora cervicornis*, *Porites astreoides* sowie vereinzelt auch Kolonien von *Acropora palmata* neben verschiedenen Mussiden. Auf Grund der begleitenden Korallenfauna, der Lagerungsverhältnisse und der petrographischen Ausbildung muß das Gestein zu den Korallenkalken II der San Luis-Formation gezählt werden. Eine Verwechslungsmöglichkeit mit älteren Ablagerungen erscheint ausgeschlossen. Auch wurden die Kolonien ausnahmslos *in situ* angetroffen, so daß eine mögliche Resedimentation von tertiärem Korallenmaterial wohl kaum in Frage kommt.

Die Kolonien zeigen große Ähnlichkeit mit *Pocillopora palmata*, einer Art, welche von PALMER (1928) an der pazifischen Küste Mexikos bei Puerto Angel, Staat Oaxaca (vgl. Abb. 1) im Pleistozän und rezent gefunden und beschrieben wurde. Herr Dr. J.-P. CHEVALIER (Paris) hatte die Freundlichkeit, verschiedene Exemplare dieser Art aus San Andrés zu überprüfen und teilte hierzu folgendes mit: „Bien que les échantillons soient usés je pense que vous avez raison et que l'espèce est bien *Pocillopora palmata* PALMER . . .“. Das Auftreten derselben Art oder doch wenigstens von zwei sehr nah verwandten Formen im Pleistozän zu beiden Seiten der mittelamerikanischen Landbrücke ist mit den heute allgemein akzeptierten biogeographischen Vorstellungen und dem vermuteten Werdegang des Isthmus kaum zu vereinbaren (GEISTER 1976). Einer — wenn auch kurzzeitigen — interozeanischen Meeresverbindung im Pleistozän widersprechen andererseits fast sämtliche bekannten Daten über die Verbreitung von Flachwassermollusken (siehe u. a. WOODRING 1966) und anderen Organismen, welche viel eher auf eine Trennung der Meeresfaunen spätestens seit dem Ende des Pliozäns hindeuten.

Vergleich der jungpleistozänen mit der rezenten Korallenfauna von San Andrés

Die jungpleistozäne Korallenfauna von San Andrés unterscheidet sich von der dortigen rezenten Fauna im wesentlichen durch eine geringere Artenzahl, was vor allem mit den besseren Aufsammlungsbedingungen im rezenten Riff zusammenhängen dürfte. Echte Unterschiede zeigen sich allerdings in der quantitativen Verbreitung verschiedener Arten. Die im heute zugänglichen Teil des Pleistozäns verbreitetsten Korallen sind in Reihe abnehmender Häufigkeit (abgeschätzt nach ihrem jeweiligen Anteil an der Gesamtmasse): *Acropora cervicornis*, *Montastrea annularis* und mit größerem Abstand *Acropora palmata*. Im rezenten Rifffkomplex dominieren *Montastrea annularis* (ausgedehnte Vorkommen auf der 20 m-Terrasse vor der Westküste) und in zweiter Linie *Millepora* (extensive Verbreitung in der Brandungszone des Wallriffes im NE und E der Insel). In etwa gleich starker Verbreitung folgen mit Abstand *Porites astreoides* und *Acropora palmata*.

Auffallenderweise fehlt *Millepora* im Pleistozän so gut wie vollständig. Nur ein einziges Exemplar wurde in der Gegend von „Blowing Hole“ gefunden. Im rezenten Riff tritt dagegen *Acropora cervicornis* stark zurück und wurde nur an wenigen Lokalitäten zonenbildend angetroffen. Diese Unterschiede dürften auf der abweichenden Wellenexposition beider Rifffkomplexe beruhen. Im rezenten Wallriff wird infolge der flachen Lage des Riffkammes fast die gesamte Wellenenergie bei der Brandung freigesetzt, so daß nur die verhältnismäßig schwachen Residualwellen und induzierte Wellen die Lagune durchqueren. So ergeben sich Maximalwerte der Brandungsexposition im rezenten Wallriff, was sich in der Besiedlung durch *Millepora* ausdrückt und Minimalwerte in den Bereichen der Lagune mit ausgedehnten *annularis*- und *porites*-Wellenzonen. Bei der tiefen Lage des pleistozänen Wallriffes traten die Wellen nur wenig abgeschwächt in die damalige Lagune ein und verloren ihre Energie erst allmählich beim Durchgang über der breiten, leicht ansteigenden Plattform der heutigen Inselterrasse. Hier wurde also die Wellenenergie über eine wesentlich größere Fläche verteilt. Unter diesen Bedingungen muß zwangsläufig eine Koralle dominieren, welche wie *Acropora cervicornis* an mittlere Brandungsexposition angepaßt ist.

Bemerkungen zur Wuchsform und systematischen Stellung einiger quartärer Korallen

Millepora alcicornis und *M. complanata* treten in der gesamten Riff-Fazies sehr häufig auf und zeigen eine große Vielfalt von Wuchsformen, welche alle am gleichen Standort auftreten können. Etwas seltener kommt *M. squarrosa* vor. Weitverbreitet sind Übergänge zwischen den oben erwähnten Arten. Gelegentlich trifft man auch umgestürzte Kolonien an, welche zweifellos zu *M. complanata* zu stellen wären, die aber nach dem Umstürzen im rechten Winkel mit feinen Verzweigungen weiterwuchsen, welche typisch für *M. alcicornis* sind.

Am Innenrand der 4 m-Terrasse sind Milleporen vereinzelt ebenfalls vertreten. Sie zeigen meist verzweigte Kolonien, welche auf einer recht massigen bis knolligen oder auch inkrustierenden Basis aufsitzen. Wenn in den Wintermonaten bei Sturm starke Brandung an der Westküste herrscht, werden die feinen Verzweigungen der Milleporen oft abgebrochen. Die Bruchstellen der Kolonien verheilen nach geraumer Zeit wieder, so daß man nun vielfach Individuen vor sich hat, welche sich eindeutig als *Millepora squarrosa* bestimmen lassen. Spätestens nach wenigen Monaten sind aber wieder feine Verzweigungen gewachsen, so daß man vor Beginn der nächsten Winterstürme die Kolonien erneut zur Art *M. alcicornis* zu stellen hätte. Eine artliche Ansprache ist deshalb in diesen wie auch in anderen Fällen gar nicht eindeutig möglich, und es erscheint fraglich, ob eine Trennung der drei atlantischen *Millepora*-Arten überhaupt gerechtfertigt ist.

Acropora cervicornis tritt um San Andrés in einer dickästigen, einer dünnästigen und einer buschigen Wuchsform auf. Die dickästigen Kolonien bilden die *cervicornis*-Wellenzone im flachen Wasser und erreichen bis zu 5 cm Astdicke. Sie besitzen die Form eines weitausladenden Hirschgeweihs und zeigen keine inkrustierende Basis. In Wassertiefen von mehr als 15 m finden sich auf der 20 m-Terrasse vor der Westküste dünnästige Formen, deren Zweige kaum mehr als 1 cm Dicke erreichen. Auch ihnen fehlt eine inkrustierende Basis. Da diese Kolonien gelegentlich zusammen mit der dickästigen Wuchsform auftreten, dürfte die Ausbildung dieser Kolonien kaum ausschließlich von der Wassertiefe abhängen. Im Bereich der *strigosa-palmata*- und

gelegentlich auch in der *Palythoa-Millepora*-Wellenzone wurden stellenweise auffallend dichtbuschige Kolonien von *A. cervicornis* beobachtet, welche stets mit einer breiten, inkrustierenden Basis festgewachsen waren. Die zylindrischen Zweige auch benachbarter Kolonien verschmelzen an den Berührungspunkten ähnlich wie diejenigen von *A. prolifera*. Zweigfragmente können auf dem Felsboden festwachsen und zu neuen Kolonien regenerieren. Die Kolonien zeigen eine außergewöhnlich gute Anpassung an die Lebensbedingungen in der Brandungszone. Eine ähnliche Kolonie wurde von KORNICKER & BOYD (1962, Abb. 30, links) abgebildet.

Acropora prolifera ist um San Andrés die am wenigsten verbreitete der drei westindischen *Acropora*-Arten. Sie scheint die *strigosa-palmata*-Wellenzone zu bevorzugen und wurde im Bereich von Fleckenriffen und am Innenrand des Wallriffes angetroffen. Auf das gelegentliche Auftreten von Übergangsformen zwischen *A. prolifera* und *A. palmata* ist bereits hingewiesen worden.

Eine als *Agaricia* sp. bezeichnete Koralle fand sich zusammen mit *Montastrea annularis* in der pleistozänen *annularis*-Wellenzone an der Südostküste der Insel. Es handelt sich um massige bis inkrustierende Kolonien, welche im Gegensatz zur typischen *Agaricia agaricites* durchweg eine wesentlich stärker prominente Columella besitzen. Die Kelche erreichen 2, selten 3 mm Durchmesser, sind auffallend flach und nur undeutlich in Reihen angeordnet. Eine vergleichbare massige Kolonie von *Agaricia* wurde rezent vor Santa Marta (Kolumbien) aufgesammelt.

Helioseris sp. unterscheidet sich von der bekannten Art *H. cucullata* (= *Agaricia nobilis* VERRILL, 1902) durch die gleichmäßig hohe und gleichmäßig dicke Ausbildung der Septen und Rippen in den Innenbereichen der Kolonie. Die Rippen sind bei der typischen *H. cucullata* alternierend hoch und niedrig und unterschiedlich breit. Bei dem vorliegenden Exemplar ist dies nur in den äußersten Bereichen in der Wachstumszone der Fall. Bei ihm stehen außerdem die Kelche dicht gedrängt und sind teilweise in Reihen so zusammengefaßt, daß mehrere Kelche zusammen einen gemeinsamen, langgestreckten Columellarschlitz bilden. Die circumorale Anordnung der Kelche erscheint weniger deutlich ausgeprägt als bei *H. cucullata*. Es wurde nur ein einziges Exemplar dieser Form an der Kliffwand vor „Masily“ in wenige Meter tiefem Wasser gefunden.

Porites clavaria tritt um San Andrés in der *annularis*-Wellenzone in geschützten Lagen vor der Westküste in Form von außergewöhnlich großen Kolonien auf, welche gelegentlich bis über 1 m Durchmesser erreichen können. Die Äste sind mit Ausnahme ihrer Spitzen stets abgestorben. Letztere erreichen nicht selten 3–4 cm Dicke. Übergangsformen zu *Porites porites* var. *furcata* wurden nicht festgestellt. Aus diesem Grunde wird diese Form in Tab. 10 nicht als Variante von *Porites porites*, sondern als eigene Art aufgeführt.

Porites branneri bildet um San Andrés unregelmäßig hemisphärische bis inkrustierende Kolonien vom Habitus des *P. astreoides*. Jedoch wurden auch hin und wieder inkrustierende Formen gefunden, welche an ihrer ringförmigen Columella zweifelsfrei als *P. branneri* zu bestimmen waren, aber außerdem Verzweigungen vom Habitus des *P. porites* var. *divaricata* ausbildeten. In der *porites*-Wellenzone bei „Rocky Cay“ finden sich zahlreiche verzweigte *Porites*-Kolonien, welche als *P. porites* var. *furcata* anzusprechen sind, aber gleichfalls eine ringförmige Columella besitzen.

Über die Wuchsform der Säulenkoralle *Dendrogyra cylindrus* im rezenten Riffkomplex vor San Andrés wurde bereits an anderer Stelle berichtet (GEISTER 1972a).

7.2.2. Mollusken und Seeigel

Die artenmäßige Zusammensetzung der pleistozänen und rezenten Molluskenfauna wurde gleichfalls untersucht. Die Ergebnisse sind bereits veröffentlicht worden (GEISTER 1973a).

Auffallenderweise fanden sich mit Ausnahme von Stachelbruchstücken, welche offensichtlich von *Diadema* stammen, keine Seeigelreste in den Pleistozän-Ablagerungen. Im rezenten Riffkomplex herrschen in den jeweils vorteilhaftesten Biotopen die regulären Seeigel *Tripneustes esculentus*, *Diadema antillarum* und *Echinometra* ssp. vor. *Lytechinus variegatus* und *Eucidaris tribuloides* sind seltener. Von den irregulären Seeigeln ist *Meoma ventricosa* am häufigsten. *Clypeaster* tritt im Gegensatz zur tertiären Lagune wesentlich stärker zurück. Es fanden sich nur drei Gehäuse dieser Gattung, welche offensichtlich verschiedenen Arten zuzuordnen sind.

8. Die geologisch-geomorphologische Entwicklung der Insel

8.1. Regionale tektonische Anlage und präquartäre Entwicklung

8.1.1. Regionale tektonische Anlage

Ältere Ablagerungen als fragliches Oligozän ließen sich nicht nachweisen. Der ungewöhnlich steile Außenabhang von San Andrés bis in größere Tiefen spricht jedoch für eine mächtige Ablagerung von Riffsedimenten auf einer Unterlage, welche entsprechend DARWINS Atoll-Theorie in erdgeschichtlichen Zeiträumen langsam tiefer gelegt wurde, so daß der Riffwuchs stets mit dem Betrag der Absenkung Schritt halten konnte. Magnetische Messungen geben Hinweise für eine tiefsitzende vulkanische Basis der Insel (MILLIMAN & SUPKO 1968, 104), welche sehr wahrscheinlich tiefer als 1000 m, möglicherweise auch tiefer als 2000 m liegt. Allein auf Grund der sich dabei ergebenden Sedimentmächtigkeiten dürfte der aktive Vulkanismus der Insel, gemessen an den Absenkungsbeträgen pazifischer Atolle (STODDART 1969, 437), zumindest in das älteste Tertiär oder aber in die Kreide zu stellen sein.

Die hypothetische vulkanische Vergangenheit der Insel steht in Einklang mit der vulkanischen Vorgeschichte der weiteren Umgebung, so des Nikaragua-Rückens (ARDEN 1969), Nikaraguas und von Great Corn Island (McBIRNEY & WILLIAMS 1965), der Albuquerque Cays (MILLIMAN & SUPKO 1968, 104) und von Providencia (PAGNACCO & RADELLI 1962), sowie der Verteilung der magnetischen Anomalien in diesem Gebiet.

Das Alter der vulkanischen Ereignisse auf dem Nikaragua-Rücken wird von ARDEN (1969, 301) in die Zeit von Oberjura bis Unterkreide gestellt. Sie klingen in der Oberkreide aus. In Providencia wurden Korallen-Ablagerungen offensichtlich miozänen Alters von andesitischen Ergüssen überlagert, doch liegen noch wesentlich ältere vulkanische Serien vor (eigene Untersuchungen). Sollte eine zeitliche Parallelität der vulkanischen Ereignisse an diesen verschiedenen westkaribischen Lokalisationen vorliegen, dann wäre das hypothetische Alter der vulkanischen Basis von San Andrés eher in die Kreide als in das Tertiär zu stellen. Eine Gleichaltrigkeit mit dem miozänen Vulkanismus von Providencia kommt wohl nicht in Frage.

Die etwa lineare Anordnung und z. T. auch die Längserstreckung der Albuquerque Cays, von San Andrés, des Insularschelfes von Providencia und des Atolls der Quita Sueño-Bank als annähernd nördliche Verlängerung der ostpazifischen Pa-

namá-Bruchzone (vgl. Abb. 2; MOLNAR & SYKES 1969, Abb. 6) läßt in Analogie zu verschiedenen pazifischen Atoll- und Inselketten auf eine alte Störungszone schließen. Sie zeigt im S nördliches Streichen, biegt dann im Bereich des Nikaragua-Rückens langsam in Nordostrichtung und auf der Höhe von Jamaika schließlich in östliches Streichen um. Die Richtung verläuft damit parallel zum mittelamerikanischen Schelf bzw. zum Nikaragua-Rücken. Entlang dieser Störungszone dürfte sich eine Reihe von Vulkaninseln gebildet haben, welche bei späterer regionaler Absenkung in der Mehrzahl der Fälle Ausgangspunkt für die Entstehung von Atollen oder auch von Seebbergen waren. Den N- bis NNE-streichenden Linien scheinen sich NW-streichende Störungen zu überlagern, wie zumindest die Längserstreckung des Atolls der Roncador-Bank und der Südast des Atolles der Courtown Cays vermuten lassen. Die NW-Richtung verläuft parallel zur Lage des Mittelamerika-Grabens. Sowohl die Courtown Cays als auch San Andrés scheinen im Schnittpunkt zweier verschieden gerichteter Störungen zu liegen. Auffallenderweise stimmen diese sich aus der regionalen Anlage ergebenden Richtungen mit den vorherrschenden Streichrichtungen der jungpleistozänen Störungsbrüche (Abb. 26) weitgehend überein.

8.1.2. Entwicklung vom hypothetischen Vulkanstadium zu einem jungtertiären Atoll

Als Ergebnis von Bruchbildung und Vulkanismus sowie von Riffwuchs und regionaler Absenkung des Meeresbodens über mehr als 1000 m hat sich auf San Andrés spätestens im jüngeren Alttertiär eine atollartige Riffstruktur bilden können, deren (?) oligozäne bis miozäne Ablagerungen heute im Bereich der Insel ausstreichen (Abb. 29a). Die Absenkung wurde wahrscheinlich im Oligozän von einer längeren Phase der Emergenz unterbrochen, bei der sich die erwähnte Transgressionsdiskordanz an der Lokalität „Perry“ ausbilden konnte. Nach ARDEN (1969, 306) wurde der Nikaragua-Rücken im späteren Ober-Eozän herausgehoben und blieb im W wahrscheinlich bis Anfang Miozän emergent. War in dieser Heraushebung auch die dem Rücken im SE vorgelagerte Atollkette wenigstens teilweise mit einbezogen, dann könnte die Diskordanz bei „Perry“ der letzte Zeuge dafür auf San Andrés sein. Die Heraushebung hätte hier jedoch schon im Laufe des Oligozäns einer erneuten Absenkung Platz gemacht, welche mindestens bis in das mittlere oder höhere Miozän andauerte. Durch die sich offensichtlich während des Miozäns verlangsamende Absenkung konnte sich die Lagune durch Sedimentablagerungen zunehmend verflachen, so daß Korallenrasen ausgehend vom peripheren Riff den flacheren Randbereich der Lagune besiedelte (Abb. 29b). In dem späteren Stadium kamen offensichtlich auch in beschränktem Maße fein verteilte vulkanische Aschen zur Sedimentation, welche Ursache des leichten Tongehaltes des „caliche“ sein dürften.

8.1.3. Jungtertiäre bis (?) altpleistozäne Verkippung

Frühestens im obersten Miozän, wahrscheinlicher aber im Pliozän oder gar erst im ältesten Pleistozän begann das Atoll von San Andrés quer zu seiner Längserstreckung nach E bzw. ESE zu verkippen. Diese Verstellung steht möglicherweise im Zusammenhang mit der Südkippung von Jamaika und dem dortigen Abschnitt des Nikaragua-Rückens, die nach ARDEN (1969, 306 u. 308) im späten mittleren Miozän eingesetzt haben soll. In diesem Fall wäre zu vermuten, daß die Einfallsrichtung

entsprechend dem Verlauf des Schelfrandes und der Hauptstörungszone nach S eine zunehmend stärkere östliche Komponente erhielt, was mit dem auf San Andrés vorwiegend eingemessenen Fallen nach ESE übereinstimmt. Jedoch ergibt sich die Schwierigkeit, daß offensichtlich die benachbarten Atolle — wenn überhaupt — nicht im selben Maße herausgehoben wurden, so daß die entstandenen Kalksteininseln wohl schon während des Pleistozäns wieder vollständig abgetragen werden konnten.

Durch die Verkippung hob sich das Atoll im W als Insel langsam heraus, während es sich im E weiter absenkte. Auf diese Weise konnte das östlich gelegene Außenriff im Bereich der „Pallat Bank“ weiter in die Höhe wachsen und eine neue Lagune bilden (Abb. 29c). Da sich bei den ältesten Terrassen keine Verstellung mit Sicherheit nachweisen läßt, dürfte die Verkippung der Insel schon im älteren Pleistozän abgeschlossen gewesen sein. Durch die partielle Heraushebung des Atolls bedingt, setzten unter Einwirkung der Atmosphärrillen Verkarstung, Abtragung und starke diagenetische Veränderungen der Atollablagerungen ein, welche stellenweise die vollständige Auflösung des aragonitischen Skelett- und Schalenmaterials zur Folge hatten. Diese Prozesse dauerten mit Unterbrechungen durch erneute Überflutungen bis in die Gegenwart. Durch die ständig wirkende Abtragung während der langsamen Heraushebung dürfte die Insel niemals ihre durch die Verkippung des Atolls bedingte potentielle Höhe von weit mehr als 1000 m über dem heutigen Meeresspiegel erreicht haben.

8.2. Morphogenese von Insel und Insularschelf unter dem Einfluß pleistozäner Transgressionen

8.2.1. Bildung von Hochterrasse und Mittelterrassen

Das ältere Pleistozän war eine Zeit relativ hoher Meeresspiegelstände, in der sich Hochterrasse und Mittelterrassen gebildet haben. Es scheint, daß am Ende der Bildung der Hochterrasse die damalige Insel in heute rund 100 m Höhe vollständig abgetragen war und lediglich ein Kalksteinplateau dicht unter dem damaligen Meeresspiegel bildete.

Wegen der heute nur noch reliktiert erhaltenen Mittelterrassen und deren Kliffen erscheint es nicht möglich, irgendwelche präzisen Angaben über die Inselkonfiguration am Ende der Bildung dieser Terrassen zu machen. Die Insel dürfte sich jedoch zur fraglichen Zeit auf die zentralen Bereiche des heutigen Höhenrückens zwischen „Sam Wright Hill“, „Cove Hill“ und „May Mount“ (S „Mission Hill“) beschränkt haben; hier sind heute noch die Relikte der Hochterrasse erhalten.

8.2.2. Bildung der Älteren Niederterrasse und der Vorriff-Terrasse (Pleistozän I—II)

Das bedeutendste morphogenetische Ereignis für die Ausbildung der heutigen Inseltopographie war die Bildung der Älteren Niederterrasse im mittleren Abschnitt des Pleistozäns. Durch die Transgression wurde offensichtlich die tiefergelegene Mittelterrasse vom Meer her weitgehend gekappt, so daß der heutige Höhenrücken des „Hill“ in groben Umrissen schon damals entstanden sein dürfte. Bei dieser Transgression, die unter dem heutigen Meeresspiegel einsetzte, wurde vermutlich sowohl das damalige Außenriff im Bereich der „Pallat Bank“ als auch die Innenkante der Lagune abgeschnitten. In einem späteren Stadium der Transgression konnte sich bei

langsam ansteigendem Meeresspiegel je ein Wallriff im Bereich der „Pallat Bank“ und am gesamten Außenrand der neu entstandenen Älteren Niederterrasse ausbilden, welche bei der weiteren Überflutung langsam mit in die Höhe wuchsen. Auf diese Weise bildete sich sowohl eine innere, flache Lagune auf der Älteren Niederterrasse selbst als auch eine tiefe Lagune im W der heutigen „Pallat Bank“. Das Wallriff befand sich gegen Ende der Transgression am Außenrand des damaligen Insularsschelfes, d. h. sowohl an der Außenkante der Älteren Niederterrasse als auch im Bereich der „Pallat Bank“ vor der NE-Küste. Die damalige Inseloberfläche war im wesentlichen auf das Gebiet des heutigen zentralen Höhenrückens der Insel beschränkt (Abb. 29d).

Auf diese Transgression folgte eine Regression bis in den Bereich des Außenabhanges. Dadurch fiel der gesamte damalige Insularschelf mit Ausnahme der tiefen Lagune bei der heutigen „Pallat Bank“ trocken (Abb. 29e). Die Phase der Regression endete mit einem erneuten Meeresspiegelanstieg und der Transgression der 20 m-Terrasse von rund 25 m bis in etwa 8 m unter dem heutigen Meeresspiegel (Abb. 29f). Diese Transgression war durch die Ausbildung der Vorriff-Terrasse von grundlegender Bedeutung für die Topographie des heutigen Insularschelfes von San Andrés und wohl auch anderer westindischer Riffinseln. Das gesamte alte Außenriff im Anschluß an den Außenabhang wurde im 25 bis 20 m-Bereich gekappt, und es bildeten sich hier die Vorriff-Terrassen und die „Pallat Bank“ von z. T. mehreren 100 m Breite. Durch den langanhaltenden Tiefstand des Meeresspiegels zwischen 20 und 8 m bedingt, beginnt die trockengefallene flachliegende Lagune zu verkarsten und sich dadurch zu vertiefen. Am Ende der Transgression bildete sie schließlich eine Meeresbucht, welche durch eine niedrige Landzunge vom offenen Meer abgetrennt war (Abb. 29f).

Die Transgression, die zur Bildung der Vorriff-Terrasse führte, war offensichtlich eine weltweite Erscheinung, welche ihre Spuren sowohl in den Riffgebieten des Indopazifiks (vgl. CHEVALIER et al. 1970, 45: Mururoa; EMERY et al. 1954: Bikini) als auch des Atlantiks hinterlassen hat. Besonders ausgeprägte 20 m-Terrassen sind jedoch in den Riffgebieten Westindiens überliefert. Wegen der außergewöhnlichen Breite dieser Terrassen in Westindien bereitete es DARWIN (1962 [1851], 196–199) nicht unerhebliche Schwierigkeiten, die Atolle und Wallriffe des westlichen Karibischen Meeres in seine genetische Riffklassifikation einzubeziehen. Er half sich schließlich damit, daß er die „submerged banks“ hauptsächlich mit einer starken Sedimentakkumulation im Strömungsschatten von Inseln und untergetauchten Bergen erklärte und führt als Beispiel die Insel Providencia an. Damit jedoch war die Hauptschwierigkeit, nämlich die Lage der Riffe inmitten der Bänke, noch nicht erklärt: „... but their position some way within the line of deep water I cannot explain, without it be, that a depth somewhat less than that close to the outer margin of banks, is most favourable to their growth“. Auch KÜHLMANN (1970, 745 ff.) erklärt die Bildung der Vorriff-Terrasse noch mit Sedimentakkumulation im Flachwasserbereich.

STANLEY & SWIFT (1968, 493) kommen auf Grund ihrer Untersuchungen zu dem Schluß, daß die 20 m-Terrasse im Gebiet der Bermudas durch eine Transgression vor der holozänen Transgression gebildet und durch letztere höchstens überprägt wurde. Diese Ansicht läßt sich am besten mit den Beobachtungen um San Andrés vereinbaren.

8.2.3. Bildung der Jüngerer Niederterrasse (Pleistozän III) und Regression in der Jüngeren Würm-Eiszeit (Pleistozän IV)

Unmittelbar im Anschluß an die Bildung der Vorriff-Terrasse oder nach einer erneuten Regression stieg der Meeresspiegel wieder an und überflutete das Kliff am Innenrand der 20 m-Terrasse. Das Relikt der Älteren Niederterrasse im Bereich der heutigen Inselplattform wurde gekappt, überflutet und weitgehend von jüngeren Sedimenten überdeckt. Auch die niedere Landzunge, welche die Lagune im NE umschloß, wurde sowohl von der Seeseite als auch von der Lagunenseite her überflutet. Auf dem topographischen Kamm dieser Struktur begann jetzt ein Wallriff aufzuwachsen. Der Meeresspiegel stieg langsam bis in etwa + 8 m Höhe an und hatte wohl noch ein geringfügiges Zurückweichen des Küstenkliffes am Innenrand der Älteren Niederterrasse zur Folge (Abb. 29g). Darauf folgte ein schnellerer Meeresspiegelanstieg bis in + 14 m Höhe. Die Reste der Älteren Niederterrasse wurden nun von den Korallenablagerungen der Jüngerer Niederterrasse überdeckt. Die Überflutung geschah zu schnell, als daß der Riffwuchs hätte mit ihm Schritt halten können. Aus diesem Grunde konnte das Wallriff auch nicht mehr zur damaligen Meeresoberfläche hochwachsen.

Nach einem vorübergehenden Meeresspiegelanstieg auf + 20 und + 27 m fiel der Meeresspiegel wieder ab. Ein kurzfristiger Anstieg bis auf + 65 m würde die Ablagerung der Korallenkalke am „Sam Wright Hill“ erklären, ist aber nicht zu beweisen. Während der Überflutung der Jüngerer Niederterrasse und kurz danach wurde die gesamte Insel einschließlich des damaligen Insularschelfes von einer Serie tektonischer Brüche durchzogen, was hier mit einer leichten Aufwölbung der Erdkruste im Bereich der mesozoisch bzw. frühkänozoisch angelegten Störungszonen gedeutet wird. Dies könnte eine geringfügige Heraushebung der Insel zur Folge gehabt haben.

Offensichtlich handelt es sich bei der Bildung der Jüngerer Niederterrasse um eine Transgression im Gefolge eines glazio-eustatischen Hochstandes des Meeresspiegels im Riß-Würm-Interglazial. Im Laufe der Würm-Vereisung (Pleistozän IV) senkte sich der Meeresspiegel zeitweise auf wahrscheinlich mehr als 100 m unter seine heutige Lage ab. Unter diesen Bedingungen war die Insel etwa vier- bis fünfmal so groß wie heute (Abb. 29h). Die höchsten Erhebungen der Insel lagen damit etwa 200 m über dem damaligen Meeresspiegel. Die Insel hatte die Form eines aufragenden Tafelberges mit ungewöhnlich steiler und buchtenfreier Küste, in dessen westlichem Abschnitt der „Hill“ einen markanten Höhenzug bildete. Riffe waren offensichtlich keine vorhanden. Bei länger dauernden Meeresspiegelstillständen bildeten sich die Tiefwasser-Terrassen aus.

Die Meeresspiegeltiefstände des Würmglazials wie auch diejenigen zur Zeit der Bildung der Vorriff-Terrasse dürften eine starke Verkarstung vor allem im Bereich der rezenten Lagune zur Folge gehabt haben, die sich noch heute in dem sehr unregelmäßigen Relief des Lagunenbodens zu erkennen gibt.

8.3. Der holozäne Meeresspiegelanstieg, der heutige Zustand und Ausblick auf die zukünftige Entwicklung der Insel

8.3.1. Der holozäne Meeresspiegelanstieg

Aus dem heute annähernd bekannten zeitlichen Verlauf des Wiederanstiegs des Meeresspiegels seit Beginn des Holozäns ergibt sich, daß die Außenkanten der Vorriff-Terrasse vor etwa 7 000 bis 8 000 Jahren überflutet wurden. Vor rund 5 000 Jahren hatte der Meeresspiegel schließlich den — 5 m-Stand erreicht (Abb. 29i). Noch lagen die Bereiche der heutigen Wall- und Saumriffe ausnahmslos über Wasser. Die Lagune bildete zwei große, schlauchförmige Buchten im N und E der Insel, die schon mit dem offenen Meer, aber wahrscheinlich noch nicht miteinander in Verbindung standen. Der Anstieg des Meeresspiegels hatte sich inzwischen so sehr verlangsamt, daß es an besonders exponierten Kliffen zu einer Terrassenbildung kommen konnte. Diese holozäne 4 m-Terrasse entstand vor allem an denjenigen Stellen der Westküste, die sich durch verhältnismäßig starken Wellengang und damit durch besonders starke Abrasion bei Sturm auszeichneten. Dies waren die tiefst gelegenen Außenränder der Jüngeren Niederterrasse, welche im Bereich der Westküste breite Sporne bildeten, die über 200 m weit zur 20 m-Terrasse hin vorspringen. An solchen Stellen wurde das Kliff in den letzten 5 000 Jahren bis zu 250 m zurückverlegt. Auch im Osten der Insel finden sich heute holozäne Terrassenbildungen, so vor allem vor „Rocky Point“, „Sterthenberg Point“, an der Kliffküste im nördlichen Teil von „San Luis“ nahe der katholischen Kirche sowie in der näheren Umgebung von „Rocky Cay“ und „Haine Cay“. An allen diesen Lokalitäten sind heute rezente Kliffe entwickelt, denen eine Transgressionsterrasse vorgelagert ist, welche in der Regel aus Hartgrund besteht. Der Bereich des heutigen Wallriffes im E bildete bis zum Erreichen des — 2 m-Standes noch weitgehend festes Land.

Beim Fortschreiten der Transgression wurde das gesamte Gebiet des heutigen Insularschelfes schließlich vor etwa 3 000 Jahren unter Wasser gesetzt. Erst nachdem der Kamm des jungpleistozänen Wallriffes überflutet war, konnten Milieporien und Korallen auf den alten Riffstrukturen wieder siedeln, da nun die Abrasion minimal geworden war.

8.3.2. Der heutige Zustand und gegenwärtige Entwicklungstendenzen

Während das Rückschreiten des Kliffs vorwiegend an der Westküste einen stetigen, wenn auch langsamen Landverlust bedeutet, wird diese Entwicklung vor der besonders flachen Nord- und Ostküste durch eine beträchtliche Sandakkumulation in Form der Strandbildungen der Bay-Formation und damit durch eine Gewinnung neuen Landes wettgemacht. Vergleicht man etwa die von der Britischen Admiralität im Jahre 1834 durch R. OWEN aufgenommene Seekarte mit den heutigen Luftaufnahmen und Karten, dann fällt ein beträchtlicher Landzuwachs bei „Licie Point“ auf, welcher auf den Küstenversatz von N und die Wellenrefraktion um „Rocky Cay“ (vgl. Abb. 6) und dadurch bedingten Sandtransport zurückzuführen ist.

Durch die submarine Topographie bedingt bildeten sich flache Buchten sowohl im N (bei „Sprat Bight“), NE („Black Dog Swamp“, SE „North Cliff“) als auch im E der Insel („Duerner Pond“ bei „Sound Bay“ und Sümpfe im N und S von „Smichinal“). Diese wurden durch die jungen Strandbildungen der Bay-Formation vom Meere ab-

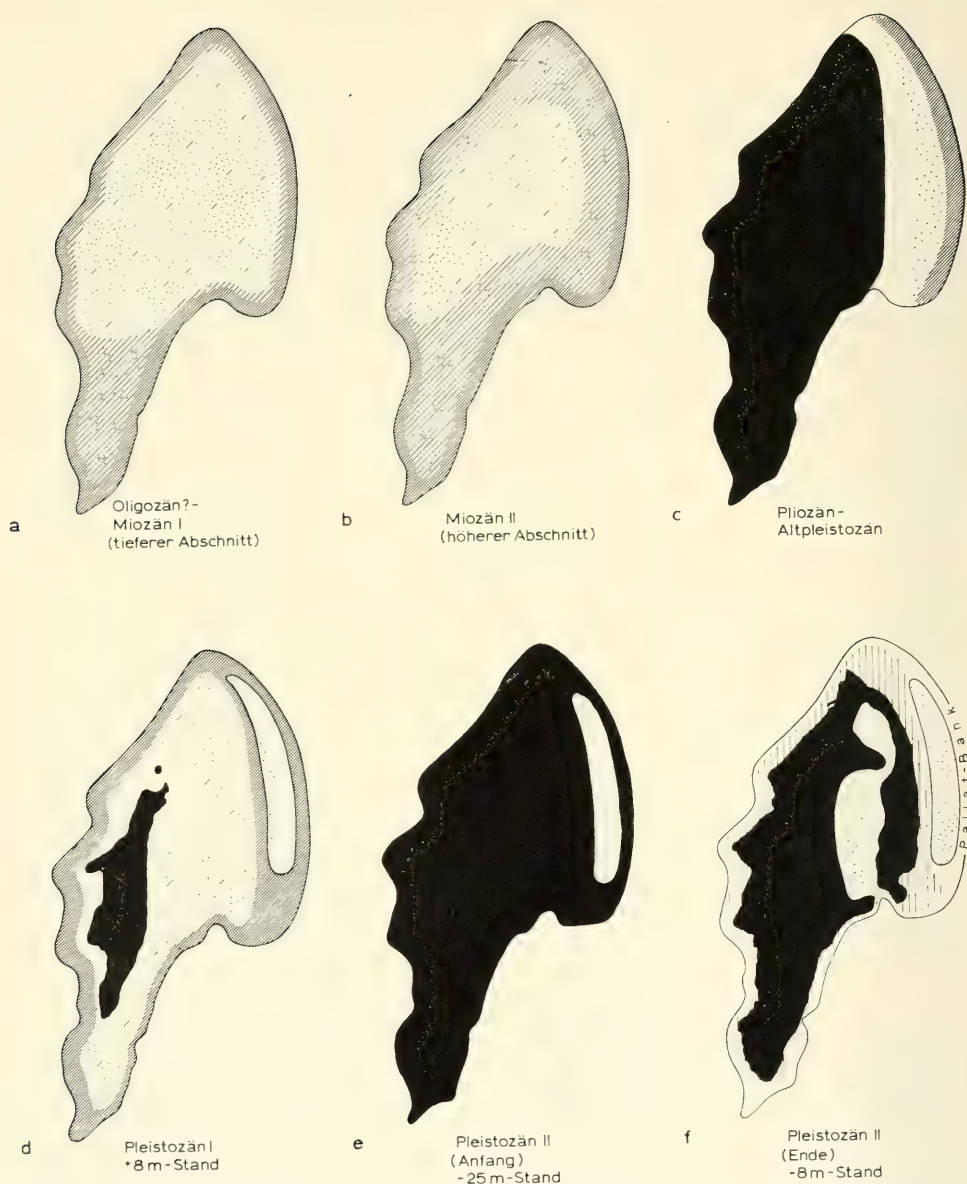


Abb. 29. Geologische Entwicklung der Insel San Andrés vom (?) Oligozän bis in die Gegenwart und in die fernere geologische Zukunft.

Geological evolution of San Andrés Island from Oligocene (?) to the Present and extrapolation of evolution into the geological future.

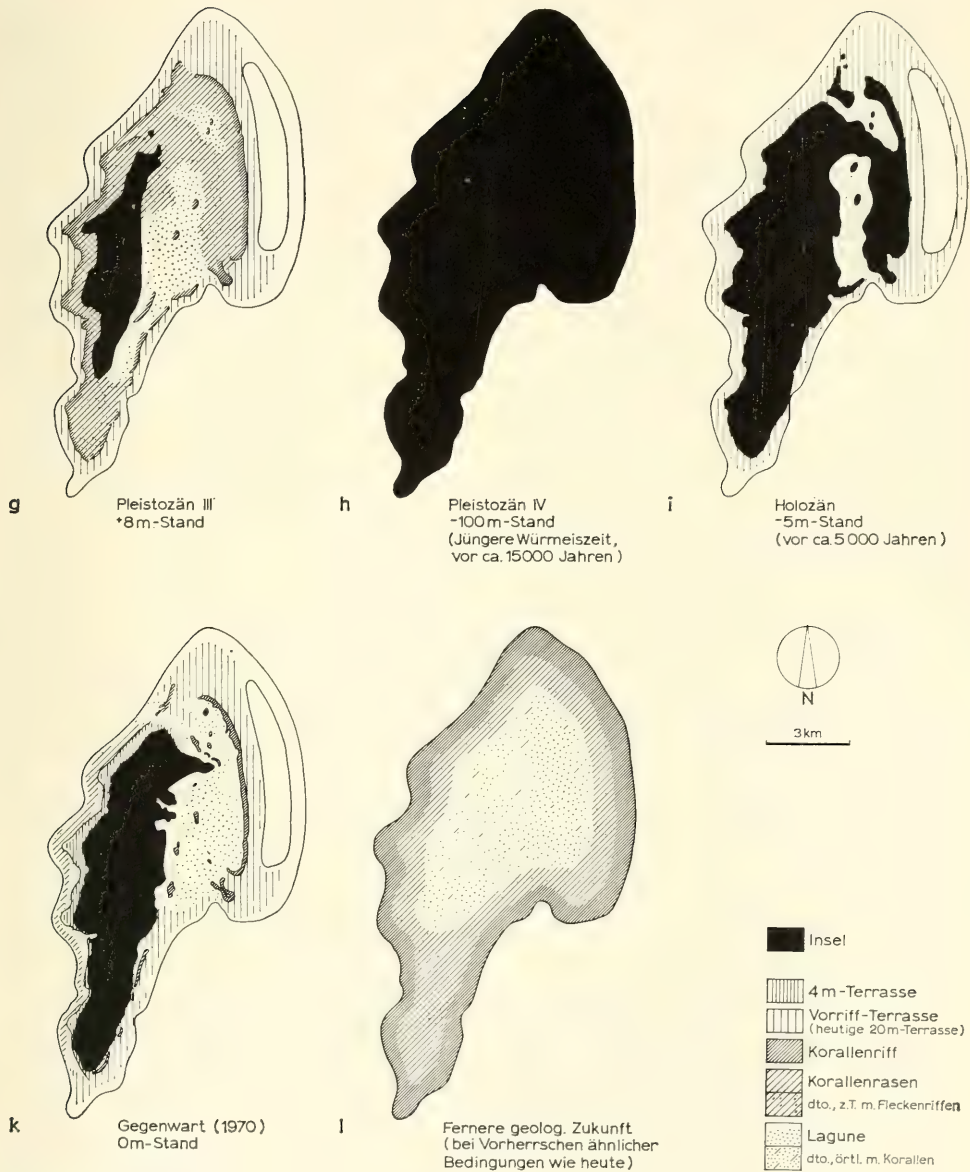


Abb. 29 (Fortsetzung)

geschlossen und verlandeten. Durch schmale Ausflüsse, welche nur nach stärkeren Regenfällen Wasser führen, stehen sie mit dem Meer in Verbindung.

Auch die Sedimentakkumulation im Bereich der Mangroven schreitet offenbar stetig fort. „Old Point“, ursprünglich eine Kalksteininsel vor der flachen Ostküste, ist mittlerweile durch Mangrovenwuchs und Schlammablagerung so weit mit der Hauptinsel verbunden, daß man sie auf einem Pfade trockenen Fußes erreichen kann. Noch um die Jahrhundertwende, so erinnern sich alte Insulaner, verkehrten hier Kanus, welche Kokosnüsse nach „North End“ transportierten.

In den letzten Jahren sind durch Initiative der lokalen Regierung die Sümpfe im N der Insel mit Sand aufgefüllt worden, welcher bei der gleichfalls durchgeführten Vertiefung des Hafenbeckens anfiel. Dadurch wurde nicht nur beträchtlich Land für die Ausdehnung des Hauptortes „North End“ gewonnen, sondern man wurde auch in begrenztem Maße der dort verbreiteten Moskito-Plage Herr. Außer den Sümpfen wurden weite Flachwassergebiete vor „North End“ durch Sandauffüllungen landfest gemacht und eine breite Halbinsel für die Schiffsanlegestelle und die geplanten Hafenanlagen aufgeschüttet (vgl. Abb. 3). Damit wurden die heutigen Umrisse der Insel im wesentlichen erreicht (Abb. 29 k).

Allerdings scheint es, daß diese rezenten, anthropogenen Ablagerungen im Flachwasserbereich der Küste geologisch gesehen am instabilsten sind und deshalb — wenn nicht sinnvoll befestigt — in wenigen Jahren wieder vollständig in das Meer gespült sein werden, ohne daß dabei die möglichen Auswirkungen von Hurrikanen ins Auge gefaßt werden müssen. Allein durch den Küstenversatz in südwestlicher Richtung wurde die Strandlinie zwischen 1968 und 1973 wieder beträchtlich zurückverlegt, wie sich aus gewissen Landmarken wie dem alten Landesteg und dem Vergleich mit wenige Jahre alten Luftbildern ergibt. Der Sand wird von den Wellen bis in die Nähe des Piers transportiert und hier im tiefen, da frisch ausgebaggerten Wasser abgelagert. Dort hat sich inzwischen die Wassertiefe zum Teil wieder um angeblich 1–2 m verringert. Auf ähnliche Weise beginnt sich von der Spitze der künstlichen Hafenhälfte durch wellenbedingten Sandtransport eine schmale Landzunge nach S zu bilden und damit wohl die Bucht N „Old Point“ in absehbarer Zeit vom Meere abzuschließen.

8.3.3. Ausblick auf die zukünftige Entwicklung der Insel

Der Gesteinsaufbau und die heutige Form von San Andrés müssen als vorläufiges Endergebnis einer langen Folge akkumulativer und erosiver Prozesse angesehen werden, welche das Wechselspiel von tektonischer Absenkung, Heraushebung und von Meeresspiegelschwankungen begleiteten. Die konstruktiven Prozesse Riffwuchs und primäre Sedimentproduktion beruhen auf der Kalkbindung im Flachwasserbereich und ermöglichen ein Hochwachsen bzw. eine Verbreiterung der vorhandenen Flachwasserplattform. Erosive Faktoren, vor allem Abrasion und Bioerosion, wirken diesen Prozessen nicht nur entgegen, sondern zerstören — neben der subaerischen Verwitterung — auch vorhandene Kalksteininseln.

Für die Wirkung beider Gruppen von Prozessen erscheint die Lage des Meeresspiegels von primärer Bedeutung, da der Riffwuchs auf die gut durchlichteten Flachwasserbereiche beschränkt bleibt, und auch die erosiven Prozesse Abrasion, Kalklösung oder Bioerosion sowohl am Kliff als auch im Riff am stärksten im Gezeitenbereich sowie in den unmittelbar darüber und darunter angrenzenden Zonen wirksam sind.

Aus diesem Grunde kann das Endergebnis des Zusammenwirkens all dieser Prozesse auf eine Kalksteininsel, über einen geologischen Zeitraum hin betrachtet, nur deren vollständige Abtragung dicht unterhalb des — als konstant vorausgesetzten — Meeresspiegels sowie — bei einem gut entwickelten Riffkomplex — das Hochwachsen der Riffe bis an den Meeresspiegel bei gleichzeitiger Sedimentauffüllung der Lagune sein. So führen letztlich entgegengesetzte und im Grunde schwer kalkulierbare Vorgänge zu dem selben Ergebnis, nämlich zu einer Einebnung der vorhandenen submarinen und terrestrischen Topographie dicht unterhalb des Niedrigwasserspiegels. Jede relative Veränderung des Meeresspiegels eustatischer oder tektonischer Natur schafft zwangsläufig eine neue Referenzebene, auf die sich diese Prozesse danach erneut einstellen. Diese Erkenntnis mag dazu verführen, trotz zahlreicher Unwägbarkeiten und ausgehend von der bisher bekannten Entwicklung von San Andrés extrapolierend einen Blick in die geologische Zukunft der Insel zu werfen.

Sollte sich der Meeresspiegel nach den kräftigen, eustatischen Schwankungen des Pleistozäns und Holozäns in Zukunft weitgehend stabilisieren, dann müßten in geologisch kurzer Zeit alle vorhandenen Kalksteininseln dicht unterhalb des Meeresspiegels gekappt werden. Bei Anhalten des gegenwärtigen Kliffvortriebes an der Westküste der Insel kann man damit rechnen, daß spätestens in wenigen Jahrtausenden die gesamte Insel San Andrés zerstört und abgetragen und außerdem die Lagune weitgehend mit Sedimenten aufgefüllt wäre. Aktiver Riffwuchs müßte in diesem Stadium auf das Vorriff und den Außenabhang beschränkt bleiben. Der Sedimenttransport ginge, abgesehen vielleicht von mobilen Sturmstrand-Bildungen vom Typ des „Johnny Cay“, nicht mehr zur Ablagerung in die schon aufgefüllte Lagune, sondern über die Vorriff-Terrasse zum Außenabhang. Zwangsläufig müßte das Außenriff in Richtung auf das Meer weiterwachsen, was auf lange Sicht einem Vorstoß über die Vorriff-Terrasse bis in den Bereich des heutigen Außenabhanges gleichkäme. Weiterer Riffwuchs würde schließlich zu einer Verbreiterung des Riffkomplexes führen.

An eine derartige Entwicklung dürfte sich letztlich auch ein allmählicher Meeresspiegelanstieg anschließen, der sich aus dem Abschmelzen der seit dem Beginn der pliozän-quartären Abkühlung der in den Polargebieten als Eis gebundenen Wassermassen ergäbe. Unter diesen Umständen dürfte sich San Andrés nicht — wie oben geschildert — zu einem Tafelriff („table reef“ TAYAMA 1935) entwickeln, sondern die Insel würde in der ferneren geologischen Zukunft nach einem eustatisch und tektonisch bewegten Zwischenspiel wieder zum Stadium eines echten Atolles mit einer breiten, morphologisch ausgeglichenen Lagune zurückkehren, das im Tertiär schon einmal vorhanden war (Abb. 29 I).

Manches spricht nun aber dafür, daß die geologische Entwicklung von San Andrés in der unmittelbaren geologischen Zukunft noch keinen derartigen Abschluß finden wird. Wichtigste Unsicherheitsfaktoren bleiben mögliche menschliche Eingriffe, tektonische Bewegungen und zukünftige glazieustatische Bewegungen des Meeresspiegels, welche aus dem weiteren Abschmelzen bzw. der erneuten Akkumulation des Eises an den Polkappen resultieren könnten. Nach EMILIANI (1955, 571) werden in etwa 10 000 Jahren die Bedingungen für den Beginn einer neuen Eiszeit wieder günstig sein. Diese hätte dann eine erneute Absenkung des Meeresspiegels und damit wieder vorübergehend eine beträchtliche Vergrößerung der Inseloberfläche und in Verbindung damit wahrscheinlich einen erneuten Zyklus von Terrassenbildungen zur Folge.

Nachtrag

Erst während der Drucklegung der vorliegenden Arbeit erhielt ich Einblick in eine bereits 1972 abgeschlossene, maschinenschriftliche Dissertation von M. J. KOCURKO mit dem Titel „Paleoenvironmental investigation of San Andrés Island, Colombia. A study of carbonate rocks“. Ende 1974 erschien eine Kurzfassung der genannten Studie im Druck (KOCURKO 1974). Da sich beide Arbeiten KOCURKOS thematisch zum großen Teil mit den hier veröffentlichten eigenen Untersuchungen decken, erscheint es notwendig, in einem Nachtrag darauf einzugehen und wenigstens einige der voneinander unabhängig gewonnenen Ergebnisse miteinander zu vergleichen.

Schon bei den von KOCURKO beschriebenen Geländebeobachtungen zeigen sich gegenüber den in der vorliegenden Untersuchung dargestellten Verhältnissen ganz erhebliche und so zahlreiche Abweichungen, daß nur auf die wichtigsten Behauptungen eingegangen werden kann. Es versteht sich von selbst, daß unter diesen Bedingungen bei der Interpretation — vor allem der fossilen Riffe und der Entwicklungsgeschichte der Insel — nur wenig vergleichbare Ergebnisse zu erwarten sind. Die Seitenangaben und Abbildungsnummern beziehen sich im folgenden — wo nicht anders angegeben — ausschließlich auf die auf Mikrofilm erhältliche, maschinenschriftliche Dissertation, da hier die Angaben am ausführlichsten begründet werden.

Ausbildung des rezenten Riffkomplexes

Auch KOCURKO stellt seinen Untersuchungen in den fossilen Riffkomplexen eine Beschreibung des heutigen Insularschelfes voraus. Dabei untergliedert er letzteren nach topographischen und ökologischen Gesichtspunkten in eine Reihe von luvseitigen und leeseitigen Zonen, welche er später in den fossilen Riffkomplexen wiederzuerkennen sucht.

Auf der Leeseite des rezenten Riffkomplexes scheidet er von der Küste zum offenen Meer hin folgende Zonen aus (S. 14–28):

I. „Near Shore Area“: Heutiger Kliff- und Brandungsbereich bis in 2 m Wassertiefe.

II. „Upper Platform Area“: Entspricht der sich an das Kliff anschließenden 4 m-Terrasse.

III. „Cliff and Cave Area“: Hierbei handelt es sich um den Kliffbereich an der Außenkante der 4 m-Terrasse mit den höhlenartig eingeschnittenen Lösungshohlkehlen. KOCURKO deutet letztere als Karstbildungen, welche sich bei niedrigerem Wasserstand gebildet haben sollen. Die Wassertiefe am Fuße des Kliffs wird mit 20 m angegeben. Sie liegt aber nach eigenen Beobachtungen je nach Lokalität zwischen 7 und 10 m.

IV. „Lower Platform Area“: Damit ist der Bereich der 20 m-Terrasse gemeint. Nach KOCURKOS Angaben wird sie weitgehend von Sediment überdeckt, in welchem Graborganismen siedeln. Der ausgedehnte, dichte Korallenrasen auf der Terrasse findet hingegen keine Erwähnung, trotzdem er das größte zusammenhängende Korallenvorkommen um San Andrés darstellt.

Die „Lower Platform Area“ wird nach Ansicht von KOCURKO seewärts durch eine Reihe weiterer Kliffe in 50 m Wassertiefe begrenzt, welche er auf Luftbildern festgestellt haben will. Nach meinen eigenen Erfahrungen, die ich um San Andrés beim Unterwasserkartieren und bei der Auswertung verschiedener Luftbildserien sammelte,

ist auf Luftbildern schon in weniger als 20 m Wassertiefe keine Grenze mehr zwischen Korallen, Fels und dem offenen Meer erkennbar. Überdies ist es unmöglich, auf dieser Grundlage die Tiefenlage von Kliffen sicher abzuschätzen. Aus diesen beiden Gründen scheint mir KOCURKO Angabe äußerst fragwürdig. Auch bei meinen Echolot-Untersuchungen vor der Westküste ergaben sich keinerlei Hinweise für die Existenz der genannten Kliffe.

Die Luvseite des Insularschelfes wird von KOCURKO in folgende 5 Zonen untergliedert (S. 28—63):

I. „S h o r e“: Umfaßt sowohl den Strand einschließlich des Strandsandsteins als auch die ufernahen Flachwasserbereiche mit Seegrasrasen bis in 4 m Wassertiefe.

II. „B a c k R e e f L a g o o n Z o n e“: Entspricht dem Lagunenbecken einschließlich der dazugehörigen Fleckenriffe.

III. „B a c k R e e f P l a t f o r m“: KOCURKO versteht hierunter die Lagunen-Terrasse mit Fleckenriffen, Sandflächen und Korallentrümmer-Ablagerungen.

IV. „R e e f“: Umfaßt das gesamte Wallriff im E von San Andrés (bei KOCURKO: „fringing reef“) und das Saumriff im SE der Insel. Der minimale Korallenwuchs in den Außenbereichen des Nordabschnittes des Wallriffes und die dort zutage tretenden fossilen Korallenablagerungen sind nach KOCURKO Anzeichen dafür, daß der Nordabschnitt älter als der Südabschnitt des Riffes ist.

Dieser Auffassung widerspricht jedoch u. a. das Auftreten entsprechender fossiler Riffe auch weiter im Süden, etwa bei „Broken Ground“ und vor „Smichinal“. Außerdem zeigt sich, daß das fossile Korallenriff ebenfalls in denjenigen Riffabschnitten vorhanden ist, die heute dicht von lebenden Korallen überwachsen werden. Alle Beobachtungen sprechen tatsächlich dafür, daß die Basis des holozänen Wallriffes von einem fossilen Riff gebildet wird, welches nicht überall vollständig von rezentem Korallenwuchs überdeckt ist. Von einem unterschiedlichen Alter des Nord- und Südabschnittes des Wallriffes kann aus diesem Grunde keine Rede sein.

V. „F o r e R e e f Z o n e“: Sie entspricht im wesentlichen der Vorriff-Terrasse. KOCURKO erwähnt auch die Sandlinien, die er als Relikte alter Brandungsrinnen-Systeme deutet. Die Breite der Zone wird fälschlicherweise mit 10 km angegeben. Tatsächlich erreicht die Vorriff-Terrasse aber nur wenige hundert Meter bis maximal etwa 2 km Breite.

Ausbildung des pleistozänen Riffkomplexes

Hier zeigen sich noch auffallendere Unterschiede zu den eigenen Beobachtungen und Untersuchungsergebnissen. KOCURKO glaubt folgende Zonen ausscheiden zu können, die entsprechenden Einheiten im rezenten Riffkomplex äquivalent sein sollen (S. 99—109, Abb. 37):

I. „M a i n R e e f“: Ein Saumriff, das entlang der heutigen Westküste der Insel etwa in Nordsüdrichtung verlaufen soll. Nach den Angaben sind die vorherrschenden Riffbildner wie im rezenten Wallriff *Millepora complanata* und *Acropora palmata*.

Bei dem „Riff“ handelt es sich offenbar um den stark von Korallen überwachsenen Außenbereich der Jüngeren Niederterrasse. Hier überwiegt jedoch ein Korallenwuchs von *Montastrea annularis*. Nur örtlich kann *Acropora cervicornis* häufiger angetroffen werden. *Acropora palmata* bildet lokal Flecken, tritt aber sonst vollständig zurück. *Millepora* fehlt im gesamten pleistozänen Riffkomplex fast gänzlich. Damit ist nicht daran zu zweifeln, daß es sich bei den von KOCURKO genannten Korallenarten um Fehlbestimmungen handelt.

Nach Meinung von KOCURKO gab es nur vor der Westküste der Insel — also der heutigen Leeseite — im Pleistozän ein Korallenriff. Diese falsche Behauptung veranlaßte ihn u. a. dazu, für das Pleistozän Winde aus vorherrschend westlichen Richtungen anzunehmen (S. 99), obwohl die weite Verbreitung von gut ausgebildeten leeseitigen Korallenriffen bei anderen Inseln (z. B. Barbados, vgl. LEWIS 1960, Abb. 1) dieser Ansicht entgegensteht.

II. „Back Reef Environment“: Dieses liegt nach KOCURKO landwärts vom „main reef“ und wird durch Fleckenriffe einer typischen Korallenvergesellschaftung von *Acropora palmata* und *Diploria strigosa* charakterisiert. Außerdem tritt weit verbreitet Korallentrümmer-Material auf, das nach KOCURKO ähnlich wie im rezenten Wallriff ein Hinweis für „back reef environment“ sein soll (S. 99, 101).

Tatsächlich ist zu beobachten, daß im rezenten Riffkomplex von San Andrés Korallentrümmer überall dort auftreten, wo in der Nähe ästige Korallen vorkommen. Diese können bei Stürmen sowohl im Riff als auch in der Lagune leicht zertrümmert werden und damit praktisch überall im Riffkomplex zur Ablagerung kommen. Dies ist besonders bei *Millepora*, *Porites porites* und *Acropora cervicornis* zu beobachten. Verläßliche Milieu-Indikatoren sind deshalb Korallentrümmer nicht, auch nicht für eine „back reef platform“. Dies ist besonders bei *Acropora cervicornis* zu beobachten. Diese Art wird auf Grund ihres hochaufragenden Wuchses normalerweise nicht *in situ* im Sediment eingebettet, sondern bildet Decken aus Korallentrümmern. Auch im Riffbereich selbst wird *Acropora cervicornis* stets in zertrümmertem Zustand fossil. Ihre pleistozänen Trümmer können deshalb kaum als Indikator für die „back reef platform“ Verwendung finden, wie von KOCURKO angenommen wird (vgl. Abb. 38, No. 2 + 3).

III. „Shore zone“: KOCURKO glaubt am rezenten Kliff der Westküste dicht unterhalb des Gezeitenbereiches sogenannte „algal ledges“, d. h. mächtige Kalkalgenüberkrustungen festgestellt zu haben, die nach seinen Angaben bis zu 1 m Dicke erreichen (S. 14).

Derartige Kalkalgenablagerungen kann man auch nach eingehender Suche im Bereich der gesamten Westküste von San Andrés nicht finden. Zwar gibt es von Kalkalgen überkrustete Bänke im Zwischengezeitenbereich stärker umbrandeter Kliffabschnitte der Nord- und Südspitze der Insel. Diese sind aber durch kombinierte Aktion von Bioerosion und Lösung in den Pleistozänkalken des Küstenkliffs entstanden und wurden hier als Zwischengezeitenplatte beschrieben.

KOCURKO glaubt weiterhin, dicke Überkrustungen an der Basis der großen pleistozänen Hohlkehle von „May Cliff“ festgestellt zu haben, die er gleichfalls als „algal ledges“ deutet (S. 106, Abb. 40). Tatsächlich finden sich bis zu mehrere Zentimeter dicke Kalkalgenkrusten an den meisten pleistozänen Korallen, welche im „May Cliff“ aufgeschlossen liegen. Derartige überkrustete Korallen kann man aber nicht nur dort, sondern auch in weiten Bereichen des pleistozänen Riffkomplexes, z. B. besonders gut in der Gegend von „San Luis“ beobachten, so daß diese sicher nicht ein Hinweis für die „shore zone“ sein dürften, wie vorgegeben wird. Dagegen sind die mächtigen Kalkkrusten, welche die Basis der Hohlkehle von „May Cliff“ bilden, zum größten Teil Kalksinter-Ablagerungen, worauf schon die Gegenwart verschiedener Tropfsteinbildungen in der Hohlkehle hinweist.

Nach KOCURKO charakterisieren „algal ledges“ das Kliff der Leeseite der Insel. Da er für das Pleistozän vorherrschende Winde aus westlichen Richtungen annimmt,

läge die Hohlkehle von „May Cliff“ aber auf der Luvseite der Insel. Dieser Widerspruch wird in seinen Ausführungen nicht geklärt.

Ein weiteres Indiz für die „shore zone“ bilden nach KOCURKO Vorkommen von pleistozänem „beach rock“ im Steinbruch SE des Landestreifens (S. 101, Abb. 39). Diesen Strandsandstein habe ich bei meinen Geländeuntersuchungen nicht gesehen. Sollte es sich bei dem angeführten Calcarenit wirklich um einen Strandsandstein handeln, dann wäre damit tatsächlich eine pleistozäne Strandlinie belegt. Auf das Pleistozän im E der Insel wird nicht eingegangen.

Riffentwicklung während des Tertiärs

Während des Tertiärs werden 2 Riffkomplexe unterschieden, deren Alter mit „early Miocene“ und „late Miocene“ angegeben wird (S. 67). Der jüngere Riffkomplex soll den älteren teilweise überlagern und von diesem durch eine Diskordanz getrennt sein, deren Alter als „middle Miocene“ bezeichnet wird. Diese Altersgliederung wird ohne paläontologische Argumente durchgeführt. Die Diskordanz soll einer Heraushebung der älteren Riffe entsprechen und an einer fossilen Bodenbildung erkennbar sein. Außerdem wird die Abtrennung mit dem unterschiedlichen Anteil unlöslichen Rückstandes in beiden Abschnitten der Miozän-Kalke begründet (S. 67). Wie im folgenden kurz dargelegt werden soll, besteht keinerlei Veranlassung zu dieser Unterteilung.

Tatsächlich ist ein Ansteigen des unlöslichen Rückstandes in den stratigraphisch jüngeren Tertiärgesteinen von San Andrés festzustellen. Aber es läßt sich keine deutliche Grenze zwischen den schon von BÜRGL (1961: 22) erwähnten lithologischen Einheiten „caliza blanca, compacta y dura“ und dem tonreicheren „caliche“ ziehen, die die von KOCURKO durchgeführte Abtrennung rechtfertigen könnte. Insbesondere ist keine Diskordanz im fraglichen Bereich festzustellen, die durch eine rote, bis zu 0,5 m mächtige fossile Bodenbildung markiert wäre (S. 75). Der einzige Fundpunkt für den „paleosol“, der in der Arbeit angegeben wird, scheint für eine derartige Interpretation wenig geeignet. Es muß sich bei der angegebenen Lokalität — „road cut west of San Luis“ (S. 75) — um den Straßeneinschnitt am „Harmony Hall Hill“ handeln. Hier sind verschiedene Lagen miozäner Kalke aufgeschlossen, die z. T. deutliche Verkarstung zeigen und stellenweise durch mehr oder weniger senkrechte Brüche gequert werden. Die heutige Landoberfläche wird von einem rostfarbenen Boden bedeckt, der teilweise durch die bestehenden Spalten in tiefere Lagen des Gesteins eingespült wurde und dort in verschiedenen Hohlräumen zur Ablagerung kam. Manche dieser Lösungshohlräume verlaufen konkordant zur angedeuteten Gesteinschichtung. Vermutlich wurde in der Profilzeichnung Kocurkos (Abb. 27) eine derartige eingeschwemmte Bodenlage dargestellt, welche er als Beweis für eine Diskordanz ansieht. Außerdem ist schwer vorstellbar, weshalb eine mittelmiozäne Bodenbildung bei der postulierten jungmiozänen Transgression nicht wieder vollständig abgetragen worden sein sollte.

Der angeblich ältere Riffkomplex („early Miocene“)

Bei der Interpretation der Faziesverteilung geht KOCURKO von der ungewöhnlichen Annahme aus, daß sich die Topographie des zentralen Höhenrückens der Insel seit der Ablagerung der älteren Miozän-Kalke nicht mehr wesentlich verändert hat. Er gründet deshalb seine Faziesgliederung offensichtlich allein auf die heutige Geländetopographie und versucht, dies durch Angaben zur Faziesausbildung und Fossil-

verteilung zu stützen, die einer Kontrolle im Gelände nicht standhalten. Obwohl die tatsächliche petrographische Ausbildung und die Fossilverteilung dieser These völlig entgegen stehen, wird folgende Gliederung des Riffkomplexes vorgeschlagen (S. 67–75, Abb. 24):

I. „*R e e f*“: Hatte etwa Nord-Süd-Erstreckung und lag auf dem heutigen zentralen Höhenrücken der Insel. Als Hauptriffbildner werden *Millepora complanata* und Kalkalgen angegeben.

In der Tat kann man aber im fraglichen Bereich nur Lagunen-Ablagerungen beobachten, wenn man von kleineren, schlecht aufgeschlossenen Fleckenriffen am „Sam Wright Hill“ absieht. Nach meinen eigenen Beobachtungen überwiegen als Fossilien Mollusken und irreguläre Seeigel. Örtlich treten in den Kalken verzweigte *Melobesien* häufiger auf. Dasselbe kann man auch in gut durchströmten Bereichen der rezenten Lagune beobachten, und es darf deshalb nicht als Hinweis für ein Kalkalgenriff gewertet werden. *Millepora* fehlt vollständig, und Korallen bilden nur sehr untergeordnet in verschiedenen Horizonten Rasen aus feinästigen *Porites* und *Stylophora*. Aber aus diesem Grund kann man auch bei weitester Fassung des Riffkonzeptes den „Hill“ von San Andrés nicht als alten Riffücken ansprechen. Er ist vielmehr ein Relikt von tertiären Lagunenablagerungen, das nach Bildung der verschiedenen pleistozänen Terrassen stehen blieb. Das ist bereits ausführlich geschildert worden.

II. „*B a c k R e e f Z o n e*“: Sie soll die heutigen zentralen Depressionen der Insel im Bereich von „Duppy Gully“ und „Juk Pond“ umfassen. Als Fossilien werden angegeben: *Porites*, *Goniolithon*, Foraminiferen, Pelecypoden und Gastropoden. Das Milieu wird auf Grund der zitierten Fauna als „turtle grass environment“ gedeutet.

Auch diese Zone gründet sich offensichtlich allein auf geomorphologische Kriterien und läßt sich im Gegensatz zur Behauptung Kocurkos nicht mit Hilfe der Faunenverteilung und des Gesteinscharakters von den Gesteinen des „Hill“ abgrenzen. Denn diese zeigen keine wesentlichen Unterschiede zu den Verhältnissen in der mutmaßlichen Lagune.

III. „*F o r e r e e f f l a n k i n g d e p o s i t s*“: Dichte Kalke und Dolomite mit zahlreichen Muschelbruchstücken. Sie sollen sich in der Peripherie des Riffkomplexes abgelagert haben und heute z. B. im „North Cliff“ ausstreichen. Als Ablagerungstiefe werden „mehr als 30 m“ genannt, ohne daß hierfür eine Begründung gegeben wird. Weder die Petrographie noch der angeführte Fauneninhalt rechtfertigen eine derartige Interpretation.

Der angeblich jüngere Riffkomplex („late Miocene“)

Nach Kocurkos Ansicht wurde der ältere Riffkomplex während des Miozäns herausgehoben und bildete in der Folgezeit eine Inselgruppe. An den Flanken dieser Inseln habe sich ein jungmiozäner Riffkomplex gebildet. Dieser angeblich jüngere Riffkomplex wird in folgende Einheiten untergliedert (S. 75–88, Abb. 28 u. 29): „Fore Reef Flanks“, „Reef Zone“, „Back Reef Platform“, „Back Reef Lagoon“ mit „patch reefs“ und „Shore zone“.

Auch hier geben weder die Gesteinsausbildung noch die Faunenverteilung irgendwelche Anhaltspunkte für diese Untergliederung, die von Kocurko auf einer Kartenskizze (Abb. 28) und im Profil (Abb. 29) dargestellt wurde. Auch lassen sich in diesem Fall für die eingezeichneten Saumriffe nicht einmal topographische Argumente heranziehen. Weiterhin gibt Kocurko eine phantasievolle Schilderung der Verhältnisse in der angeblich von Inseln umsäumten „zentralen Lagune“ aus dem Bereich des

heutigen „Duppy Gully“ (S. 86–87). Jedoch sind seine Angaben durch keinerlei kritische Geländebeobachtungen belegt. Weiterhin wird man in den in Frage kommenden Gesteinen vergeblich nach der von KOCURKO angeführten Korallenfauna (*Diploria strigosa*, *Montastrea annularis*, *Montastrea cavernosa*, *Acropora palmata*) Ausschau halten. Er nennt unerklärlicherweise ausschließlich rezente Arten, darunter *Acropora palmata*, die keinen leicht zu verwechselnden tertiären Verwandten besitzt. Hauptriffbildner sollen neben verschiedenen Korallen auch hier *Millepora* und Kalkalgen sein. Bei meinen eigenen umfangreichen Korallenaufsammlungen an zahlreichen Lokalitäten der Tertiärablagerungen von San Andrés gelang es mir nicht, eine einzige *Millepora* zu finden.

Wegen dieser zahlreichen unrichtigen und oft unbegründeten Behauptungen bezüglich der Tertiär-Ablagerungen sind die entsprechenden Ausführungen KOCURKOS als Diskussionsgrundlage wertlos. Auch die Angaben zur Faziesverteilung und zum Aufbau des pleistozänen Riffkomplexes zeigen zahlreiche falsche Beobachtungen und Beobachtungslücken, so daß sich hier nur in sehr begrenztem Rahmen Vergleiche mit den Ergebnissen der eigenen Untersuchungen anbieten. Zwangsläufig müssen daher die Darstellungen der geologischen Entwicklungsgeschichte so stark voneinander abweichen, daß es wenig sinnvoll erscheint, auf dieses Kapitel hier näher einzugehen.

Die Hauptwindrichtungen während des Miozäns und Pleistozäns

KOCURKO nennt eine Anzahl von Beobachtungen, die seiner Meinung nach für abweichende Hauptwindrichtungen in der geologischen Vergangenheit sprechen. Demzufolge hätten im Miozän und Pleistozän Winde aus westlichen Richtungen vorherrscht (S. 74, 99). Gegen Ende des Pleistozäns bliesen die Winde vorwiegend aus Norden und dann erst seit jüngerer Zeit aus dem Osten (S. 109). KOCURKO bringt für seine Hypothese wenig stichhaltige Argumente, von denen hier einige erörtert werden sollen:

1. Der unlösliche Rückstand in den Tertiärablagerungen wird als vulkanische Asche gedeutet, die bei vorherrschenden Nord- und Westwinden von Mittelamerika oder Providencia herbeigeführt worden sei (S. 66). Meines Erachtens dürften auch schon die heute im Winter zu beobachtenden starken Nord- bzw. Nordwestwinde vollauf genügen, die festgestellten, minimalen Aschenmengen zu transportieren. Man hat wenig Veranlassung, aus diesem Grunde im Miozän und Pleistozän andere Verhältnisse als heute anzunehmen. Außerdem kann nicht ausgeschlossen werden, daß es im Miozän nicht auch im Osten der Insel in hinreichender Nähe Vulkane gegeben hat, welche die Asche geliefert haben könnten. Diese Vulkaninseln wären dann allerdings im Laufe der späteren Entwicklung wieder unter dem Meeresspiegel versunken.

2. Die Zone starken Korallenwuchses im Pleistozän der Westküste der Insel wird von KOCURKO vor allem auf Grund seiner Fehlbestimmungen der dort vorherrschenden Korallenfauna ökologisch mit dem heutigen Wallriff auf der Luvseite der Insel verglichen (S. 99).

Die kritische Überprüfung dieser Behauptung im Gelände zeigt dagegen sehr eindeutig, daß die Korallenvergesellschaftungen an der Westküste überwiegend der für wellengeschützte Lagen charakteristischen *annularis*-Wellenzone und teilweise auch der für leicht bewegtes Wasser typischen *cervicornis*-Wellenzone angehören. Diese Beobachtungen sprechen eindeutig für eine relativ geschützte Lage und keinesfalls für ein Außenriff an der wellenexponierten Luvseite.

3. KOCURKO glaubt vor dem angeblichen pleistozänen Saumriff der Westküste „remnants of spur and groove structure“ festgestellt zu haben, welche in West- oder Nordwestrichtung orientiert sind (S. 99). Wahrscheinlich handelt es sich dabei um die lokal auf der 4 m-Terrasse vorhandenen Brandungsrinnen. Er sieht auch dies als Hinweis für eine entsprechende frühere Windrichtung an. Dieser Feststellung widersprechen schon KOCURKOs eigene Beobachtungen von angeblichen Relikten alter Brandungsrinnen auf der Vorriff-Terrasse des heutigen Wallriffes im E der Insel (S. 52).

Nach meinen Beobachtungen sind Brandungsrinnen ungeeignet für die Rekonstruktion früherer Windrichtungen, da sie überall dort auftreten können, wo zumindest episodisch auf einer schrägen Ebene starke Brandung auftritt. Dies ist bei Sturm sowohl auf der Luv- als auch auf der Leeseite von Inseln möglich. Es hängt neben der jeweiligen Windrichtung vor allem von der einlaufenden Dünung ab, die sich je nach den örtlichen Refraktionsbedingungen den Riffen oder der Küste aus verschiedenen Richtungen nähern kann.

4. Der Nordabschnitt des heutigen Wallriffes wird von KOCURKO als „älter und weniger aktiv“ angesehen als der Südabschnitt, da die Korallenfauna im ersteren weitgehend abgestorben sein soll. KOCURKO schließt daraus, daß dieser Riffabschnitt zu jener Zeit gedieh, als sich die Hauptwindrichtung von West über Nord nach Ost verlagerte (S. 48, 110).

Wie wenig begründet diese Annahmen sind, zeigen die schon erwähnten, ausgedehnten Vorkommen von entsprechenden abgestorbenen Riffen auch im E der Insel. Außerdem ist bekannt, daß Riffe nicht nur in Luvposition, sondern auch in geschützten Lagen ausgezeichnet gedeihen können.

5. Der von KOCURKO aus dem Steinbruch nahe dem Landestreifen beschriebene pleistozäne Strandsandstein zeigt nach dessen Angaben NE-Streichen und meerseitiges Einfallen nach NW (S. 101). Bei der Untersuchung des holozänen „beach rock“ von San Andrés glaubt KOCURKO festzustellen, daß Strandsandstein nur in hochenergetischem Milieu auf der Luvseite von Barrieren und in relativer Nähe eines größeren Riffes auftreten kann (S. 101). Er nennt hierfür folgende Beispiele: 1) Ostseite des Eilands „Johnny Cay“ 2) Ostseite von „Rose Cay“ 3) Ostseite von San Andrés (längs des Strandes im S von „San Luis“). Die auffallende Lage jeweils auf der Ostseite der Inseln zeigt — nach seinem Dafürhalten —, daß die Vorkommen von Strandsandstein durch die Richtung der vorherrschenden Winde bestimmt sein könnten. Diese Annahme und die festgestellte abweichende Orientierung des Strandsandsteines im Pleistozän sind für ihn ein weiterer Hinweis dafür, daß die Winde auch in dieser Zeit noch vorwiegend aus westlichen Richtungen wehten und zwar „eher aus NW als direkt aus W“ (S. 106).

Hierzu ist zunächst einmal zu bemerken, daß Strandsandstein außerdem noch an folgenden, KOCURKO offenbar nicht bekannten Lokalitäten vorkommt*): An der Nordküste von San Andrés (Ostende von „Sprat Bight“) ist Strandsandstein vorhanden und fällt nach N hin ein. Auf „Johnny Cay“ tritt der Strandsandstein nicht nur auf der Ostseite auf, sondern er umsäumt die kleine Insel hufeisenförmig und fällt dabei stets nach außen zum Meer hin ein. Nur im S der Insel fehlt er. Auf der W-Seite des Eilandes — also im Lee — ist der Strandsandstein genau so gut wie im E ausgebildet.

*) Für die Lokalitäten vergleiche Abb. 3, für die Strandsandstein-Vorkommen Abb. 6 in der vorliegenden Arbeit.

Ein weiteres — wenn auch wesentlich kleineres — Vorkommen von Strandsandstein befindet sich bei „Sarie Bay“ an der NW-Küste von San Andrés. Dieses liegt im Windschatten der Insel und fällt auch hier — abweichend von der heute vorherrschenden Windrichtung — zum offenen Meer hin nach NW ein.

Möglicherweise gehört zu den Bildungsbedingungen von Strandsandstein eine gewisse Wellenbewegung. Diese wäre infolge der schon erwähnten Refraktion der Dünung aber gleichfalls weitgehend auf der windgeschützten Seite von Inseln gegeben. Jedenfalls werden ausgedehnte Strandsandstein-Ablagerungen u. a. auch von der Leeseite der Insel Barbados beschrieben (McLEAN 1967a, Abb. 1). Damit wäre das Auftreten von Strandsandstein — wenn man die diagenetischen Faktoren außer acht läßt — nur an eine Küstenlinie mit Lockermaterial, nicht aber an eine bestimmte Windrichtung gebunden. Das Einfallen des Strandsandsteines erfolgt deshalb immer entsprechend der vorgegebenen Topographie rechtwinklig zum jeweiligen Verlauf der Strandlinie in Richtung auf das Meer hin. In keinem Fall ist das Einfallen an die vorherrschende Windrichtung gebunden.

Ein weiterer Abschnitt von KOCURKOS Arbeit befaßt sich mit der Diagenese der Kalkgesteine von San Andrés. Da ich über diesen Problemkreis keine eigenen Untersuchungen angestellt habe, sollen die Ergebnisse dieses Kapitels hier nicht erörtert werden.

Literatur

- ABBOTT, R. T. (1958): The marine mollusks of Grand Cayman Island, West Indies. — Monograph 11, Acad. natur. Sci. Philadelphia, 138 S.; Philadelphia.
- ALMY, CH. C., jr. & CARRIÓN-TORRES, C. (1963): Shallow-water stony corals of Puerto Rico. — Carib. J. Sci., 3 (2/3), 133—162; Mayagüez/Puerto Rico.
- ANTONIUS, A. (1972): Occurrence and distribution of stony corals (Anthozoa and Hydrozoa) in the vicinity of Santa Marta, Colombia. — Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient., 6, 89—103; Santa Marta.
- ARDEN, D. D. (1969): Geologic history of the Nicaraguan Rise. — Trans. Gulf Coast Assoc. geol. Socs., 19, 295—309; Miami Beach/Florida.
- BARDACH, J. E. (1961): Transport of calcareous fragments by reef fishes. — Science, 113, 98—99; Washington.
- BARRIGA-BONILLA, E., HERNÁNDEZ-CAMACHO, J., JARAMILLO-T., I., JARAMILLO-MEJÍA, R., MORA-OSEJO, L. E., PINTO-ESCOBAR, P. & RUIZ-CARRANZA, P. (1969): La Isla de San Andrés. Contribuciones al conocimiento de su ecología, flora, fauna y pesca. 152 S.; Bogotá (Universidad Nacional, Dirección de Divulgación Cultural).
- BATEMAN, A. D. (1968): Nombres geográficos del Archipiélago de San Andrés y Providencia. — Bol. Soc. geogr. Colombia, 26 (98), 59—70; Bogotá.
- BOND, J. (1950): Results of the Catherwood-Chaplin West Indies Expedition, 1948. Part II. Birds of Cayo Largo (Cuba), San Andrés and Providencia. — Proc. Acad. natur. Sci. Philadelphia, 102, 43—68; Philadelphia.
- BRUNT, M. A., GIGLIOLI, M. E. C., MATHER, J. D., PIPER, D. J. W. & RICHARDS, H. G. (1973): The Pleistocene rocks of the Cayman Islands. — Geol. Magazine, 101 (3), 209—221; London.
- BUISONJÉ, P. H. de (1964): Marine terraces and sub-aeric sediments on the Netherlands Leeward Islands Curaçao, Aruba and Bonaire, as indicators of Quaternary changes in sea level and climate. I + II. — Koninkl. nederl. Akad. Wetensch., Proc., Ser. B, 67 (1), 60—79; Amsterdam.
- & ZONNEVELD, J. I. S. (1960): De kustvormen van Curaçao, Aruba en Bonaire. — Nieuwe West-Indische Gids, Jg. 40, 121—144; s'Gravenhage.
- BÜRGEL, H. (1961): Contribución a la estratigrafía y litogénesis de la Isla de San Andrés. — Bol. geol., 7 (1—3), 5—25; Bogotá.

- CHEVALIER, J.-P., DENIZOT, M., MOUGIN, J.-L., PLESSIS, Y. & SALVAT, B. (1968): Étude géomorphologique et bionomique de l'Atoll de Mururoa (Tuamotu). 144 S., Paris (Mus. Hist. natur./Off. Rech. sci. techn. Outre-Mer/Inst. Rech. Huiles et Oléagineux).
- CLIFTON, H. E. (1973): Role of reef fauna in sediment transport and distribution. Studies from Tektite I and Tektite II. — *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, **24**, 91–101; Hamburg.
- & HUNTER, R. E. (1973): Bioturbational rates and effects in carbonate sand, St. John, U.S. Virgin Islands. — *J. Geol.*, **81** (3), 253–268; Chicago.
- CLOUD, P. E., jr. (1952): Preliminary report on geology and marine environments of Onatoo Atoll, Gilbert Islands. — *Atoll Res. Bull.*, **12**, 1–73; Washington.
- (1959): Geology of Saipan, Mariana Islands. 4. Submarine topography and shoal-water ecology. — *Prof. Pap. U.S. geol. Surv.*, **280-K**, 361–445, Washington.
- DARWIN, CH. (1962): The structure and distribution of coral reefs. ix + 214 S.; Berkeley & Los Angeles (Univ. of California Press). — [Neudruck der Originalausgabe von 1851]
- DAVIS, J. H., jr. (1940): The ecology and geologic rôle of mangroves in Florida. — *Pap. Tortugas Lab. Carnegie Inst. Washington*, **32**, 304–412; Washington.
- Deutsches Hydrographisches Institut (1958): Westindien-Handbuch I. Teil. Die Nordküste Süd- und Mittelamerikas. 720 S.; Hamburg.
- DIETRICH, G. (1939): Das Amerikanische Mittelmeer. Ein meereskundlicher Überblick. — *Z. Ges. Erdk.*, **3/4**, 108–130; Berlin.
- DUARTE-BELLO, P.-P. (1963): Corales de los arrecifes Cubanos. — 85 S., La Habana (Universidad de La Habana).
- DUNN, E. R. & SAXE, L. H., jr. (1950): Results of the Catherwood-Chaplin West Indies Expedition, 1948. Part V. Amphibians and reptiles of San Andrés and Providencia. — *Proc. Acad. natur. Sci. Philadelphia*, **102**, 141–165; Philadelphia.
- EMERY, K. O., TRACEY, J. I., jr. & LADD, H. S. (1954): Geology of Bikini and nearby atolls. 1. Geology. — *Prof. Pap. U.S. geol. Surv.*, **260-A**, 1–265; Washington.
- EMILIANI, C. (1955): Pleistocene temperatures. — *J. Geol.*, **63** (6), 538–578; Chicago.
- EXQUEMELIN, A. O. (1678): De Americaensche Zee-Roovers. Amsterdam (Jan ten Hoorn). — [Neu-erschienen 1968 nach einer alten Übersetzung als: Das Piratenbuch von 1678. — 265 S.; Tübingen & Basel (Erdmann)].
- FABRICIUS, F. (1964): Aktive Lage- und Ortsveränderung bei der Koloniekoralle *Manicina areolata* und ihre palökologische Bedeutung. — *Senckenbergiana lethaea*, **45** (1–4), 299–332; Frankfurt a. M.
- FAIRBRIDGE, Rh. W. (Hrsg.) (1966): The encyclopedia of oceanography. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, Bd. 1, XIII + 1021 S.; New York (Reinhold Publ. Corp.).
- (Hrsg.) (1968): The encyclopedia of geomorphology. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, Bd. 3, XVI + 1295 S.; New York (Reinhold Publ. Corp.).
- FOWLER, H. W. (1944): Results of the Fifth George Vanderbilt Expedition (1914). The fishes. — *Monograph 6, Acad. natur. Sci. Philadelphia*, 69–93; Philadelphia.
- (1950): Results of the Catherwood-Chaplin West Indies Expedition, 1948. Part III. The fishes. *Proc. Acad. natur. Sci. Philadelphia*, **102**, 69–93; Philadelphia.
- FROST, S. H. (1972): Evolution of Cenozoic Caribbean coral faunas. — *Mem. VI. Conf. geol. Caribe, Isla de Margarita/Venezuela*, 461–464; Caracas.
- GEISTER, J. (1969): Contribución al conocimiento de los arrecifes de barlovento al Norte de la Isla de San Andrés (Mar Caribe, Colombia). — *Primer Congr. Colomb. Geol. 1969, Univ. Nac.; Bogotá*.
- (1972): Zur Ökologie und Wuchsform der Säulenkoralle *Dendrogyra cylindrus* EHRENBERG. Beobachtungen in den Riffen der Insel San Andrés (Karibisches Meer, Kolumbien). — *Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient.*, **6**, 77–87; Santa Marta. — [1972a]
- (1972): Nota sobre la edad de las calizas coralinas del Pleistoceno marino en las Islas de San Andrés y Providencia (Mar Caribe occidental, Colombia). — *Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient.*, **6**, 135–140; Santa Marta. — [1972b]
- (1973): Pleistozäne und rezente Mollusken von San Andrés (Karibisches Meer, Kolumbien) mit Bemerkungen zur geologischen Entwicklung der Insel. — *Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient.*, **7**, 229–251; Santa Marta. — [1973a]
- (1973): Los arrecifes de la Isla de San Andrés (Mar Caribe, Colombia). — *Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient.*, **7**, 211–228; Santa Marta. — [1973b]

- GEISTER, J. (1976): Occurrence of *Pocillopora* in late Pleistocene Caribbean coral reefs. — Second symposium international sur les coraux et récifs coralliens fossiles. — Mém. Bur. Rech. géol. min., **89**; Paris; — [Im Druck]
- [in Vorber.]: Über Kalkalgenwälle auf karibischen Korallenriffen.
- GEYER, O. F. (1969): Vorläufige Liste der scleractinen Korallen der Bahía de Concha bei Santa Marta, Kolumbien. — Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient., **3**, 25—28; Santa Marta.
- GINSBURG, R. N. & LOWENSTAM, H. A. (1958): The influence of marine bottom communities on the depositional environment of sediments. — J. Geol., **66** (3), 310—318; Chicago.
- GLYNN, P. W. (1968): Mass mortalities of echinoids and other reef flat organisms coincident with midday low-water exposures in Puerto Rico. — Marine Biology, **1** (3), 226—243; Berlin, Heidelberg & New York.
- GOREAU, Th. F. (1959): The ecology of Jamaican coral reefs I. Species composition and zonation. — Ecology, **40**, 67—90; Durham/N.C.
- (1963): Calcium carbonate deposition by coralline algae and corals in relation to their roles as reef builders. — Ann. New York Acad. Sci., **109**, 127—167; New York.
- & HARTMAN, W. D. (1963): Boring sponges as controlling factors in the formation and maintenance of coral reefs. — In: Mechanism of Hard Tissue Destruction, Publ. Amer. Assoc. Advanc. Sci., **75**, 25—54; Washington.
- & WELLS, J. W. (1967): The shallow-water Scleractinia of Jamaica: Revised list of species and their vertical distribution range. — Bull. mar. Sci., **17**, 442—453; Coral Gables/Florida.
- GUILCHER, A. (1969): Pleistocene and Holocene sea level changes. — Earth-Sci. Rev., **5**, 69—97; Amsterdam.
- HOFFMEISTER, J. E. & MULTER, H. G. (1968): Geology and origin of the Florida Keys. — Bull. geol. Soc. Amer., **79**, 1487—1502; Boulder/Colorado.
- , STOCKMAN, K. W. & MULTER, H. G. (1967): Miami limestone of Florida and its Recent Bahamian counterpart. — Bull. geol. Soc. Amer., **78**, 175—190; Boulder/Colorado.
- HUBACH, E. (1956): Aspectos geográficos y geológicos y recursos de las Islas de San Andrés y Providencia. — Cuadernos de Geografía de Colombia, **12**, 39 S.; Bogotá.
- IONIN, A. S. (1967): Rel'ef beregovoi zony o. Kuby. — Okeanologija, **7** (2), 287—301; Moskva.
- KAYE, C. A. (1959): Shoreline features and Quarternary shoreline changes, Puerto Rico. — Prof. Pap. U.S. geol. Surv., **317-B**, I—V + 49—140; Washington.
- KAPRAUN, D. F. (1972): Notes on the benthic marine algae of San Andrés, Colombia. — Carib. J. Sci., **12** (3—4), 199—203; Mayagüez/Puerto Rico.
- KIER, P. M. & GRANT, R. E. (1965): Echinoid distribution and habits, Key Largo Coral Reef Preserve, Florida. — Smithsonian misc. Coll., **149**, (6), 68 S.; Washington.
- KOCURKO, M. J. (1972): A paleoenvironmental investigation of San Andrés Island, Colombia; a study of carbonate rocks. — Diss. Texas Tech. Univ., 188 S.; Lubbock/Texas. — [Mskr.]
- (1974): Modern and ancient reef complexes and associated limestone diagenesis of San Andrés Island, Colombia. — Trans. Gulf Coast Assoc. geol. Socs., **24**, 107—128; Miami Beach/Florida.
- KORNICKER, L. S. & BOYD, D. W. (1962): Shallow-water geology and environments of Alacrán reef complex, Campeche Bank, Mexico. — Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, **46** (5), 640—673; Tulsa/Okla.
- KÜHLMANN, D. H. H. (1970): Die Korallenriffe Kubas. I. Genese und Evolution. — Int. Rev. ges. Hydrobiol., **55** (5), 729—756; Berlin.
- (1971): Die Korallenriffe Kubas. II. Zur Ökologie der Bankriffe und ihrer Korallen. — Int. Rev. ges. Hydrobiol., **56** (2), 145—199; Berlin.
- KUENEN, Ph. H. (1950): Marine geology. 568 S.; New York (John Wiley & Sons) & London (Chapman & Hall).
- LABOREL, J. (1967): Les peuplements de madréporaires des côtes tropicales du Brésil. — Diss. Univ. Aix-Marseille, 313 S.; Marseille.
- LAND, L. S. & GOREAU, Th. F. (1970): Submarine lithification of Jamaican reefs. — J. sed. Petrol., **40** (1), 457—462; Tulsa/Okla.
- LANG, J. (1971): Interspecific aggression by scleractinian corals. 1. The rediscovery of *Scolymia cubensis* (MILNE EDWARDS & HAIME). — Bull. mar. Sci., **21** (4), 952—959; Coral Gables/Florida.
- LEWIS, J. B. (1960): The coral reefs and coral communities of Barbados, W. I. — Can. J. Zool., **38**, 1133—1145; Ottawa.

- LOBOGUERRERO, M. J. (1954): Sinopsis geográfica del Archipiélago de San Andrés y Providencia. — Bol. Soc. geogr. Colombia, **12** (3 + 4), 193—209; Bogotá.
- MACINTYRE, J. G. (1972): Submerged reefs of eastern Caribbean. — Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, **56** (4), 720—773; Tulsa/Okla.
- MARSHALL, M. A. (1928): Coral reefs — rough-water and calm-water types. — Repts. Great Barrier Reef Comm., **2**, 64—72, Brisbane.
- MAYER, A. G. (1914): The effects of temperature upon tropical marine animals. — Pap. Tortugas Labor. Carnegie Inst. Washington, **6**, 3—24; Washington.
- (1918): Toxic effects due to high temperature. — Pap. Dept. mar. Biol. Carnegie Inst. Washington, **12**, 175—178; Washington.
- MCBIRNEY, A. R. & WILLIAMS, H. (1965): Volcanic history of Nicaragua. — Publ. geol. Sci. (Univ. California), **55**, 1—73; Berkeley & Los Angeles.
- MCLEAN, R. (1967): Origin and development of ridge-furrow systems in beach rock in Barbados, West Indies. — Marine Geol., **5** (3), 181—193; Amsterdam, London & New York. — [1967a]
- (1967): Measurements of beach-rock erosion by some tropical marine gastropods. — Bull. mar. Sci., **17** (3), 551—561; Coral Gables/Florida. — [1967b]
- MESOLELLA, K. J. (1967): Zonation of uplifted coral reefs on Barbados, West Indies. — Science, **156**, 638—640; Washington.
- , SEALY, H. A. & MATTHEWS, R. K. (1970): Facies geometries within Pleistocene reefs of Barbados, West Indies. — Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, **54** (10), 1899—1917; Tulsa/Okla.
- MILLIMAN, J. D. (1969): Four southwestern Caribbean atolls: Courtown Cays, Albuquerque Cays, Roncador Bank and Serrana Bank. — Atoll Res. Bull., **129**, iv + 22 S.; Washington.
- & EMERY, K. O. (1968): Sea levels during the past 35 000 years. — Science, **162**, 1121—1123; Washington.
- & SUPKO, P. R. (1968): On the geology of San Andrés Island, western Caribbean. — Geol. en Mijnbouw, **47** (2), 102—105; s'Gravenhage.
- MITCHELL, R. C. (1955): Geologic and petrographic notes on the Colombian islands of La Providencia and San Andrés, West Indies. — Geol. en Mijnbouw (Nw. Ser.), **17**, 76—83; s'Gravenhage.
- MOLNAR, P. & SYKES, L. R. (1969): Tectonics of the Caribbean and Middle American regions from focal mechanism and seismicity. — Bull. geol. Soc. Amer., **80** (9), 1639—1684; Boulder/Colorado.
- MORA-A., H. (1940): Archipiélago de San Andrés y Providencia. — Bol. Soc. geogr. Colombia, **6** (4), 237—249; Bogotá.
- MULTER, H. G. (1970): Field guide to some carbonate rock environments, Florida Keys and Bahamas. 158 S.; Miami (Miami geol. Soc., Inst. Mar. & Atmosph. Sci.).
- MUNK, W. H. & SARGENT, M. C. (1954): Adjustment of Bikini Atoll to ocean waves. — Prof. Pap. U.S. geol. Surv., **260-C**, 275—280; Washington.
- NEWELL, N. D. (1956): Geological reconnaissance of Raroia (Kontiki) Atoll, Tuamotu Archipelago. — Bull. Amer. Mus. natur. Hist., **109**, 311—372; New York.
- (1961): Recent terraces of tropical limestone shores. — Z. Geomorph., Suppl.-Bd., **3** (Pacific island terraces: Eustatic ?), 87—106; Berlin.
- & IMBRIE, J. (1955): Biogeological reconnaissance in the Bimini area, Great Bahama Bank. — Trans. New York Acad. Sci., **18**, 3—14; New York.
- & RIGBY, J. K. (1957): Geological studies on the Great Bahama Bank. — Soc. econ. Paleontologists Mineralogists, spec. Publ., **5**, 15—72, Tulsa/Okla.
- , RIGBY, J. K., WHITEMAN, A. J. & BRADLEY, J. S. (1951): Shoal-water geology and environments, Eastern Andros Island, Bahamas. — Bull. Amer. Mus. natur. Hist., **97** (1), 1—29; New York.
- ORTEGA-RICAURTE, D. (1944): Los cayos colombianos del Caribe. — Bol. Soc. geogr. Colombia, **7** (3), 279—291; Bogotá.
- OTTER, G. W. (1937): Rock-destroying organisms in relation to coral reefs. — Repts. Great Barrier Reef Expedition, **1**, 323—352; London.
- PAGNACCO, P. F. & RADELLI, L. (1962): Note on the geology of the isles of Providencia and Santa Catalina (Caribbean Sea, Colombia). — Geol. Colomb., **3**, 125—132; Bogotá.
- PALMER, R. H. (1928): Fossil and Recent corals and coral reefs of western Mexico. Three new species. — Proc. Amer. Philos. Soc., **67**, 21—31; Philadelphia.
- PARSONS, J. J. (1956): San Andrés and Providencia, English-speaking islands in the western Caribbean. — Publ. Geogr. (Univ. California), **12** (1), 1—84; Berkeley & Los Angeles.

- PARSONS, J. J. (1964): San Andrés y Providencia. Una geografía histórica de las islas colombianas del Mar Caribe occidental. — 152 S.; Bogotá (Publ. Banco de la Republica). — [span. Übers. der Arbeit von 1956, erweitert]
- PFÄFF, R. (1969): Las Scleractinia y Milleporina de las Islas del Rosario. — Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient., 3, 17—24; Santa Marta.
- PILSBRY, H. A. (1930, 1931): Results of the Pinchot South Sea Expedition. I. Land mollusks of the Caribbean islands Grand Cayman, Swan, Old Providence and St. Andrew. — Proc. Acad. natur. Sci. Philadelphia, 82, 221—261; Philadelphia.
- PORTER, J. W. (1972): Ecology and species diversity of coral reefs on opposite sides of the Isthmus of Panamá. — Bull. biol. Soc. Washington, 2, 89—115; Washington.
- PRICE, TH. J., jr. (1954): Algunos aspectos de estabilidad y desorganización cultural en una comunidad isleña del Caribe colombiano. — Rev. Colomb. Antropol., 3, 12—54; Bogotá.
- PROCTOR, G. R. (1950): Results of the Catherwood-Chaplin West Indies Expedition, 1948. Part I. Plants of Cayo Largo (Cuba), San Andrés and Providencia. — Proc. Acad. natur. Sci. Philadelphia, 102, 27—42; Philadelphia.
- RANDALL, J. E. (1965): Grazing effect on sea grasses by herbivorous reef fishes in the West Indies. — Ecology, 46, (3), 255—260; Durham/N. C.
- RANSON, G. (1955): Observations sur l'agent essentiel de la dissolution du calcaire dans les régions exondées des îles coralliennes de l'Archipel des Tuamotu. Conclusions sur le processus de la dissolution du calcaire. — C. R. Acad. Sci. Paris, 240, 1007—1009; Paris.
- REVELLE, R. & EMERY, K. O. (1957): Chemical erosion of beach rock and exposed reef rock. — Prof. Pap. U.S. geol. Surv., 260-T, 699—709; Washington.
- ROOS, P. J. (1967): Growth and occurrence of the reef coral *Porites astreoides* LAMARCK in relation to submarine radiance distribution. — Diss. Univ. Amsterdam, 72 S.; Amsterdam.
- (1971): The shallow-water stony corals of the Netherlands Antilles. — Stud. Fauna Curaçao and other Caribbean islands, 130, 108 S.; Den Haag.
- RUIZ-RIVAS, G. (1948): El archipiélago lejano. San Andrés y Providencia. — 140 S.; Barranquilla. (Ediciones Arte).
- RUSSELL, R. J. & MCINTIRE, W. G. (1966): Barbuda reconnaissance. — Techn. Rept. Coast. Stud. Inst. LSA, 11, Part J, III + 51 S.; Baton Rouge/Louisiana.
- SACHET, M.-H. (1955): Pumice and other extraneous volcanic material on coral atolls. — Atoll Res. Bull., 37, 27 S.; Washington.
- SANIN-VILA, G. (1968): Anotaciones a los nombres del Archipiélago de San Andrés y Providencia. — Bol. Soc. geogr. Colombia, 26 (98), 71—73; Bogotá.
- SARMIENTO-ALARCÓN, A. & SANDOVAL, J. (1953): Comisión geológica del Archipiélago de San Andrés y Providencia. Estudio de fosfatos. — Bol. geol., 1 (11 + 12), 27—42; Bogotá.
- SCHROEDER, J. H. (1972): Fabrics and sequences of submarine carbonate cements in Holocene Bermuda cup reefs. — Geol. Rdsch., 61 (2), 708—730; Stuttgart.
- SHEPARD, F. P. (1963): Submarine geology. 2. Aufl. 557 S.; New York, Evanston & London. (Harper & Row).
- SHINN, E. A. (1963): Spur and groove formation on the Florida Reef Tract. — J. sedim. Petrol., 33 (2), 291—303; Tulsa/Okla.
- (1968): Burrowing in Recent lime sediments of Florida and the Bahamas. — J. Paleont., 42, 879—894; Tulsa/Okla.
- STANLEY, D. J. & SWIFT, D. J. P. (1968): Bermuda's reef front platform: Bathymetry and significance. — Mar. Geol., 6 (6), 479—500; Amsterdam, London & New York.
- STANLEY, S. M. (1966): Paleogeology and diagenesis of Key Largo limestone, Florida. — Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, 50 (9), 1927—1947; Tulsa/Okla.
- STODDART, D. R. (1962): Three Caribbean atolls: Turneffe Islands, Lighthouse Reef, and Glover's Reef, British Honduras. — Atoll Res. Bull., 87, 1—151; Washington.
- (1969): Ecology and morphology of Recent coral reefs. — Biol. Rev. Cambridge philos. Soc., 44, 443—498; London.
- STORR, J. F. (1964): Ecology and oceanography of the coral-reef tract, Abaco Island, Bahamas. — Geol. Soc. Amer. spec. Pap., 79, 98 S.; New York.
- TAYAMA, R. (1935): Table reefs, a particular type of coral reef. — Proc. imp. Acad. Japan, 2 (7), 268—270; Tokio.

- TORO, R. (1929—1930): Una contribución a nuestro conocimiento de la flora silvestre y cultivada de San Andrés. — Rev. Soc. Colombiana Sci. nat., **18** (103), 201—207 (1929), **19** (104), 56—58 (1930); Bogotá.
- U. S. Nav. Oceanogr. Off. (1963): Oceanographic atlas of the North Atlantic Ocean, Publ. **700**, Section IV, Sea and swell, 227 S.; Washington.
- (1965): Oceanographic atlas of the North Atlantic Ocean, Publ. No. **700**, Section I, Tides and currents, 75 S.; Washington.
- VAUGHAN, TH. W. (1901): Some fossil corals from the elevated reefs of Curaçao, Arube and Bonaire. — Samml. geol. Reichsmus. Leiden. **2**. Beiträge zur Geologie von Niederländisch West-Indien und angrenzender Gebiete. 1—91; Leiden.
- (1914): Reef corals of the Bahamas and of southern Florida. — Yearb. Carnegie Inst. Washington, **13**, 222—226; Washington.
- (1919): Contributions to the geology and paleontology of the Canal Zone, Panama, and geologically related areas in Central America and the West Indies. Fossil corals from Central America, Cuba, and Porto Rico, with an account of the American Tertiary, Pleistocene and Recent coral reefs. — Smithsonian Institution — United States National Museum Bull., **103**, I—VI + 189—524 + I—XIV; Washington.
- VOGEL, K. (1963): Riff, Bioherm, Biostrom — Versuch einer Begriffserklärung. — N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1963** (12), 680—688; Stuttgart.
- WELLS, J. W. (1932): Study of the reef corals of the Tortugas. — Yearb. Carnegie Inst. Washington, **31**, 290—291; Washington.
- (1957): Corals. — Mem., Geol. Soc. Amer., **67** (vol. I), 1087—1104; New York.
- WERTH, E. (1953): Die eustatischen Bewegungen des Meeresspiegels während der Eiszeit und die Bildung der Korallenriffe. — Abh. Akad. Wiss. Lit., math.-naturwiss. Kl., **1952** (8), 481—618; Mainz.
- WEYL, R. (1966): Geologie der Antillen. 410 S.; Berlin (Borntraeger).
- WILLEMS, E. (1964): San Andrés: Continuity and change in the culture of a Caribbean island. — Völkerkundl. Abh., **1**, 315—328; Hannover.
- WILSON, P. J. (1973): Crab antics. The social anthropology of English-speaking negro societies of the Caribbean. — Caribbean Ser., **14**, 258 S.; New Haven & London (Yale University Press).
- WOODRING, W. P. (1966): The Panama land bridge as a sea barrier. — Proc. Amer. philos. Soc., **110** (6), 425—433; Philadelphia.
- WURTZ, Ch. B. (1950): Results of the Catherwood-Chaplin West Indies Expedition, 1948. Part IV. Land snails of North Cat Cay (Bahamas), Cayo Largo (Cuba), Grand Cayman, Saint Andrews and Old Providence. — Proc. Acad. natur. Sci. Philadelphia, **102**, 95—110; Philadelphia.
- YONGE, C. M. (1935): Studies on the biology of Tortugas corals. I. Observations on *Meandra areolata* LINN. — Pap. Tortugas Labor. Carnegie Inst. Washington, **29** (9), 185—189; Washington. — [1935a]
- (1935): Studies on the biology of Tortugas corals. II. Variation in the Genus *Siderastrea*. — Pap. Tortugas Labor. Carnegie Inst. Washington, **29** (9), 201—208; Washington. — [1935b]
- (1937): Studies on the biology of Tortugas corals. III. The effect of mucus on oxygen consumption. — Pap. Tortugas Labor. Carnegie Inst. Washington, **31** (9), 209—214; Washington.
- ZANS, V. A. (1958): The Pedro Cays and Pedro Bank. — Geol. Surv. Dep., Jamaica, Bull. **3**, VI + 47 S.; Kingston/Jamaica.
- ZENKOVIČ, V. P. (1969): Rifovoe obramlenie Kuby. — Izvest. Akad. Nauk. SSSR, ser. geogr., **2**, 81—89; Moskva. — [1969a]
- (1969): Pribrežnye melkovod'ja zapadnoj Kuby i ich otloženija. — Okeanologija, **9** (2): 256—270; Moskva. — [1969b]

Anschrift des Verfassers: Dr. Jörn Geister
Geologisches Institut der Universität Bern
Sahlstr. 6
3012 - Bern
Schweiz

TAFELN

Tafel 1

Luftansichten von Wallriff, Saumriff und Lagune im Nordosten von San Andrés

- Fig. a. Blick auf die Nordbiegung des Wallriffes („Big Reef“) aus östlicher Richtung. Innerhalb des Riffbogens liegt das Sandeiland „Johnny Cay“, am linken Bildrand die Nordspitze der Insel. Beachte die hellen „Sandlinien“ auf der Vorriff-Terrasse.
- Fig. b. Das obige Riff aus der Nähe bei „Jack Bowie Hole“. Es sind sowohl die „Sandlinien“ auf der Vorriff-Terrasse als auch die breiten Brandungsrinnen auf der Lagunenseite des Riffes erkennbar, wie sie für diesen Abschnitt charakteristisch sind. Die scharfe Linie in Lagunenmitte markiert den Abbruch der flachen Lagunen-Terrasse (hell) zum tiefen Lagunen-Becken (dunkel).
- Fig. c. Das Nordost-Ende der Insel mit dem Hauptort „North-End“. In Bildmitte sind deutlich die 4 Abschnitte des Saumriffes „Little Reef“ erkennbar. Die dunklen Flächen hinter dem Riff werden von Seegrasrasen gebildet, vor dem Riff zeigen sie das tiefe Wasser des Lagunenbeckens, z. T. auch dünnen Algen- bzw. Seegraswuchs an.

Plate 1

Aerial views of barrier reef, fringing reef and lagoon Northeast of San Andrés Island

- Fig. a. The barrier of „Big Reef“ as viewed from the east. Within the reef arc „Johnny Cay“ and close to the left margin of picture, the north point of the island. Note the clear „sand lines“ on the fore-reef terrace.
- Fig. b. Close-up of „Big Reef“ at „Jack Bowie Hole“. Note „sand lines“ on the fore-reef terrace as well as groove and spur system which in this reef section is characteristically directed towards the lagoon. Sharp line in the middle of lagoon marks drop-off of shallow lagoon terrace (clear) to deep lagoon basin (dark).
- Fig. c. Northeastern part of island with the capital „North End“. In center of picture the four sections of fringing reef („Little Reef“). The dark areas indicate growth of sea grass behind reef and deep water of lagoon basin with only sparse local growth of sea grass and algae in front of reef.



Tafel 2

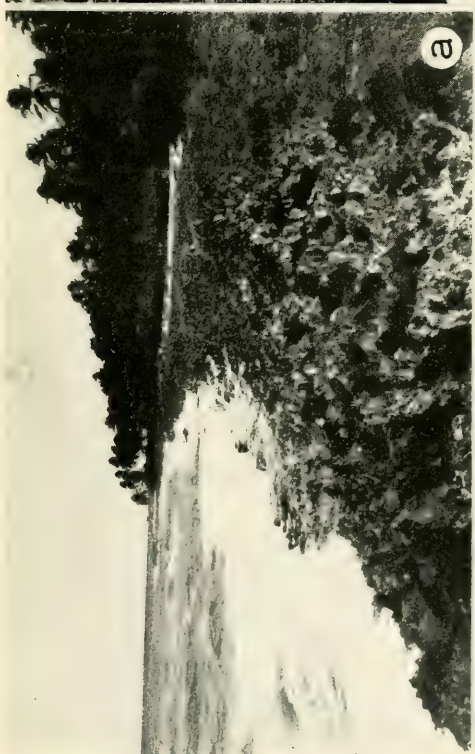
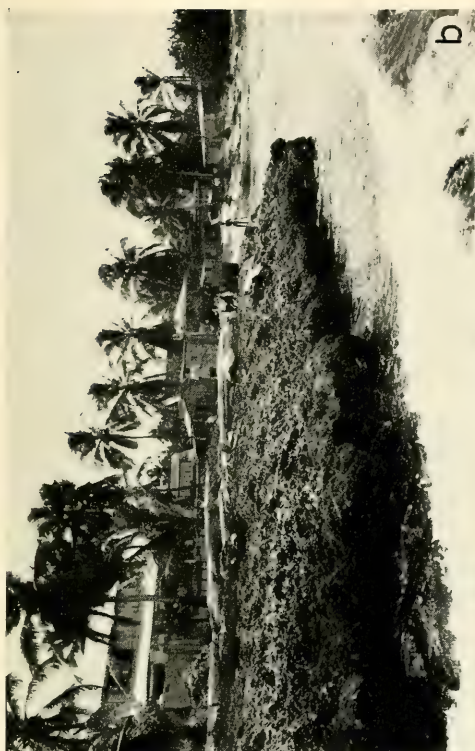
Küstenformen um San Andrés

- Fig. a. Kliffküste, eingeschnitten in jungpleistozäne Kalke der „Jüngeren Niederterrasse“ bei „Blowing Hole“. Meerseitig schließt sich eine holozäne Abrasionsterrasse an. Es sind deutlich die Gezeitenplatte (nahe der Wasserlinie), sowie die groben (Bildmitte) und feinen Küstenkarren (rechter Bildrand) zu erkennen. Klifftyp Aa vgl. Abb. 16.
- Fig. b. Kliffküste, eingeschnitten in die jungpleistozänen Kalke der „Jüngeren Niederterrasse“ N von „Sterthenberg Point“, aufgenommen bei Niedrigwasser. Meerseitig ist eine holozäne Abrasionsterrasse ausgebildet. Klifftyp Bb vgl. Abb. 16.
- Fig. c. Strandküste im S von „Sound Bay“. Im Wurzelwerk des angetriebenen Baumstammes wurden mehrere Zentner basischer Vulkanite angetroffen. Derartig verfrachtetes Gestein bildet die einzigen natürlichen Vorkommen von Nicht-Karbonatgesteinen auf San Andrés.
- Fig. d. Mangrovenküste am inneren Ende der Bucht von „Cove Seaside“. Rote Mangroven (*Rhizophora mangle*) bewachsen die ruhigsten Flachwasserbereiche und bilden hier die „*Rhizophora mangle*-Wellenzone“.

Plate 2

Coastal morphology on San Andrés Island

- Fig. a. Clifty coast cut in late Pleistocene limestone of the „Younger Low Terrace“ near „Blowing Hole“. Seaward the cliff drops to an abrasion terrace of Holocene age. Visible are intertidal platform (close to water line) and pitted morphology of limestone (center and to the right). Cliff-type Aa, see fig. 16.
- Fig. b. Clifty coast cut in late Pleistocene limestone of „Younger Low Terrace“ N of „Sterthenberg Point“, at low tide. Seaward Holocene terrace of abrasion. Cliff-type Bb, see fig. 16.
- Fig. c. Beach coast S of „Sound Bay“. The big tree in the back-ground drifted to the island with several hundred pounds of igneous rocks entangled in the meshwork of its roots. Material transported this way forms the only natural occurrences of non-limestone rocks on San Andrés Island.
- Fig. d. Mangrove coast at „Cove Seaside“. Red mangroves (*Rhizophora mangle*) flourish in the calmest shallow-water areas thus forming the „*Rhizophora mangle* wave zone“.



Tafel 3

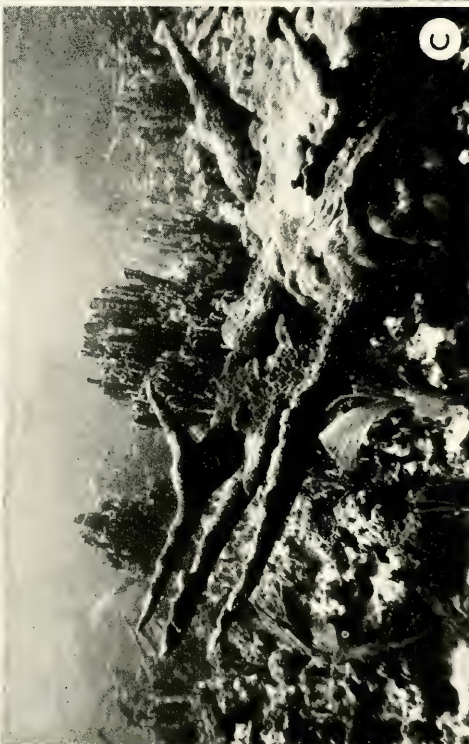
Faunenverteilung im Saumriff „Little Reef“ I

- Fig. a. Riffplatte von der Außenkante her gesehen in etwa 1 m Wassertiefe. An dieser Stelle herrscht eine Faunenassoziation von *Porites astreoides* und *Diploria clivosa* vor, zu welcher sich *Millepora complanata*, die Fächerkoralle *Gorgonia* sowie vereinzelte kleine Kolonien von *Diploria strigosa* gesellen.
- Fig. b. Eine Hecke der Elchgeweihkoralle *Acropora palmata* vergesellschaftet mit einer großen Kolonie der Hirnkoralle *Diploria strigosa* und *Millepora* (links vorn) im Bereich der Riffplatte in etwa 1,2 m Wassertiefe.
- Fig. c. Eine isolierte Kolonie der Elchgeweihkoralle *Acropora palmata* vergesellschaftet mit *Porites astreoides* und *Millepora complanata* an der Außenkante der Riffplatte in etwa 1,2 m Wassertiefe.
- Fig. d. Der Fuß des flachen Vorriff-Abhanges am Ostabschnitt von „Little Reef“. Der Wuchs von Scleractiniern erscheint an dieser Stelle stark unterdrückt. Neben Oktokorallen überwiegen hier Algen. Die helle Fläche im Mittelgrund kennzeichnet den Innenrand der Lagune, die dunkle Fläche im Hintergrund Seegrasrasen in etwa 5 m Wassertiefe. Rechts ein knapp 2 m langer Ammenhai (*Ginglymostoma cirratum*) und darüber ein Großer Barrakuda (*Sphyraena barracuda*).

Plate 3

Faunal distribution in „Little Reef“ I

- Fig. a. Outer edge of reef flat ca. 1 m deep. At this location the coral fauna is dominated by *Porites astreoides* and *Diploria clivosa*, that are accompanied by *Millepora complanata*, the sea fan *Gorgonia* as well as a few small colonies of *Diploria strigosa*.
- Fig. b. A thicket of the moose horn coral *Acropora palmata* associated with a big colony of the brain coral *Diploria strigosa* and with *Millepora* (left foreground) on the reef flat in about 1.2 m depth.
- Fig. c. An isolated colony of the moose horn coral *Acropora palmata* associated with *Porites astreoides* and *Millepora complanata*. Near outer edge of reef flat, ca. 1.2 m deep.
- Fig. d. Eastern section of „Little Reef“. Transition of fore-reef slope to lagoon. Growth of stony corals is poorly developed at this location. Note abundant octocorals and algae. The clear sandy area in center marks margin of lagoon, the dark area in the background is overgrown by sea grass in about 5 m depth. To the right a nurse shark (*Ginglymostoma cirratum*) almost 2 m long and above a great barracuda (*Sphyraena barracuda*).



Tafel 4

Faunenverteilung im Saumriff „Little Reef“ II

- Fig. a. Kolonien der Feuerkoralle *Millepora complanata* an der Außenkante der Riffplatte. In Bildmitte ein Soldatenfisch (*Holocentrus rufus*). Etwa 0,5 m Wassertiefe.
- Fig. b. Doktorfische (*Acanthurus* sp.) zwischen Hecken von *Acropora palmata* im Bereich der Riffplatte. Etwa 1 m Wassertiefe.
- Fig. c. Elchgeweihkorallen (*Acropora palmata*) verschiedener Wuchsformen an der Außenkante der Riffplatte. Ostabschnitt von „Little Reef“. Wassertiefe im Vordergrund rund 2 m.
- Fig. d. Doktorfische (*Acanthurus* sp.) am Vorriff-Abhang von „Little Reef“. Die Riffplatte (rechts vorne) wird an dieser Stelle vor allem von *Porites astreoides* besiedelt. Untergeordnet treten *Diploria strigosa*, *Millepora* und Oktokorallen auf. Wassertiefe etwa 1 m.

Plate 4

Faunal distribution in „Little Reef“ II

- Fig. a. Colonies of the fire coral *Millepora complanata* at the outer edge of reef flat. In the center a squirrel fish (*Holocentrus rufus*). Depth ca. 0.5 m.
- Fig. b. Surgeon fishes (*Acanthurus* sp.) passing thickets of *Acropora palmata*. Reef flat ca. 1 m deep.
- Fig. c. Moose horn corals (*Acropora palmata*) representing different growth forms at the outer edge of reef flat. Eastern section of „Little Reef“. Depth in foreground ca. 2 m.
- Fig. d. Surgeon fishes (*Acanthurus* sp.) along fore-reef slope of „Little Reef“. The reef flat (foreground right) is overgrown mainly by *Porites astreoides*, accompanied by a few *Diploria strigosa*, *Millepora*, and octocorals. Depth ca. 1 m.



Tafel 5

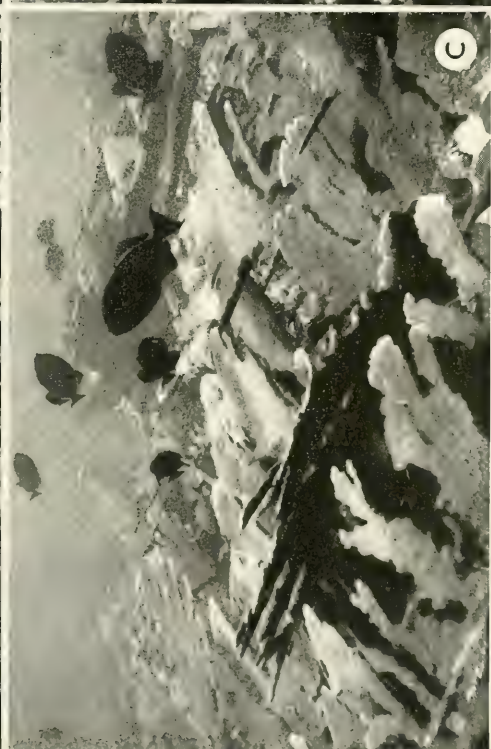
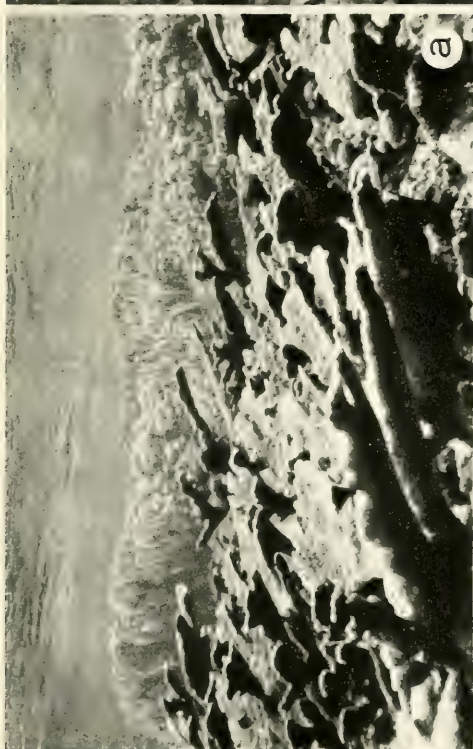
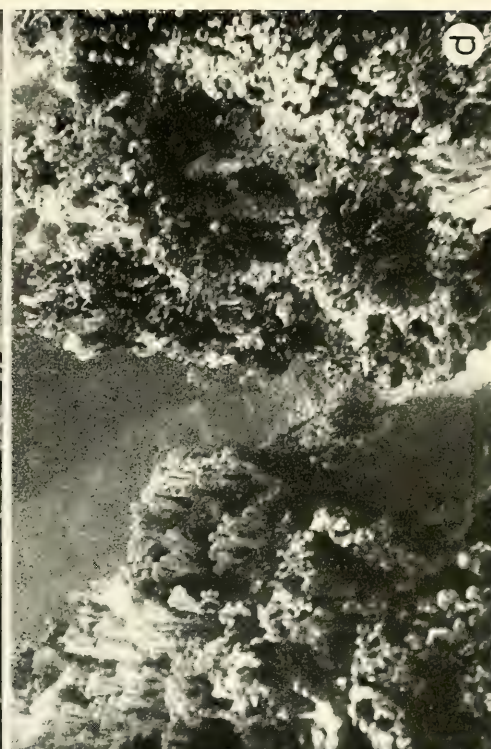
„East Reef“ und „Half-a-Reef“

- Fig. a. Die Brandungszone von „East Reef“. Der Rifffsporn im Hintergrund ist nach links in die offene See gerichtet. Er zeigt einen dichten Bewuchs fast ausschließlich von *Millepora* und *Palythoa*. Die Hecken von *Acropora palmata* im Vordergrund wachsen im Schutze eines weiteren Rifffspornes aus *Millepora* und *Palythoa*, welcher links außerhalb des Bildrandes beginnt und sich ebenfalls nach links zum offenen Meer erstreckt.
- Fig. b. Rückkante von „East Reef“. Die hoch aufragende Brandungszone wird von *Millepora* und *Palythoa* besiedelt. In ihrem Schutze gedeihen im Rückriffbereich Hecken von *Acropora palmata*, z. T. vergesellschaftet mit vereinzelt großen Kolonien von *Diploria strigosa*. Das Riff wird an dieser Stelle von einer kleinen Brandungsrinne gequert (Bildmitte).
- Fig. c. Auch am Fuße der Rifffsporne von „East Reef“ treten im Übergangsbereich zur Vorriff-Terrasse größere Hecken von *Acropora palmata*, z. T. mit großwüchsigen Kolonien von *Diploria strigosa* auf. Etwa 6 m Wassertiefe. Über den Korallen eine Gruppe Schwarzer Drückerkfische (*Melichthys niger*).
- Fig. d. Etwa 4 m tiefe Brandungsrinne in „Half-a-Reef“ zwischen Rifffspornen, welche von *Millepora* besiedelt werden.

Plate 5

„East Reef“ and „Half-a-Reef“

- Fig. a. The breaker zone of „East Reef“. Reef spur in background directed to the open sea on the left. It is overgrown almost exclusively by *Millepora* and *Palythoa*. The thickets of *Acropora palmata* in the foreground are growing in a sheltered position behind another spur of similar extension that begins beyond the left margin of picture and that is directed in the same way to the open sea on the left.
- Fig. b. Lagoonward edge of „East Reef“. The conspicuous breaker zone is colonized by *Millepora* and *Palythoa*. *Acropora palmata* and *Diploria strigosa* are living in environments protected by the reef crest. In the center a small groove is cutting the reef crest. It leads down to the fore-reef terrace.
- Fig. c. Thickets of *Acropora palmata* forming patches at the foot of the fore-reef slope of „East Reef“ in about 6 m of depth. Above the corals a school of black durgons (*Melichthys niger*).
- Fig. d. Groove in „Half-a-Reef“, about 4 m deep. Spurs on both sides are formed by dense growths of *Millepora*.



Tafel 6

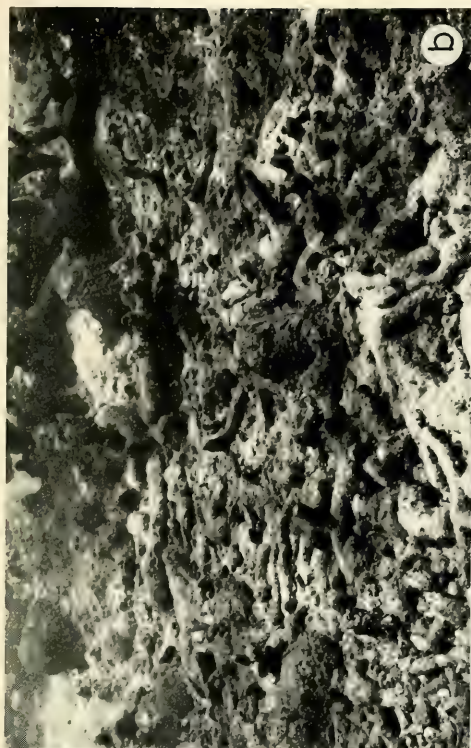
„Half-a-Reef“, Lagunenbecken und Saumriff vor „Cotton Cay“

- Fig. a. Hecke von *Acropora cervicornis* nahe der Lagunenkante von „Half-a-Reef“. Links vorne und rechts hinten vereinzelte Kolonien von *Acropora palmata*. Wassertiefe etwa 1,5 m. Das Foto wurde im September 1970 aufgenommen.
- Fig. b. Bei einem späteren Besuch im Mai 1973 waren sämtliche *cervicornis*-Kolonien vollständig, die *palmata*-Kolonien teilweise — vermutlich durch Einwirkung von Sturmwellen — zertrümmert.
- Fig. c. Der Boden des Lagunenbeckens im N von „Little Reef“ in etwa 8 m Wassertiefe. Neben vereinzelten Halmen des Seegrases *Cymodocea manatorum* siedeln hier vor allem verschiedene Braunalgen (darunter *Padina*) und Grünalgen (*Penicillus*, *Halimeda*, *Caulerpa* u. a.).
- Fig. d. Das Saumriff vor „Cotton Cay“ hebt sich etwa 1 m über den hier von einem dichten Seegrasrasen (vorwiegend *Thalassia testudinum*) bewachsenen Lagunenboden. Das Riff wird fast ausschließlich von Kolonien der Fingerkoralle *Porites porites* var. *furcata* aufgebaut.

Plate 6

„Half-a-Reef“, lagoon basin and fringing reef at „Cotton Cay“

- Fig. a. Thicket of *Acropora cervicornis* along lagoonward edge of „Half-a-Reef“. In foreground left and background right isolated colonies of *Acropora palmata*. Depth ca. 1.5 m. Photo taken in September 1970.
- Fig. b. The same location as in fig. a, visited in May 1973. All the colonies of *Acropora cervicornis* had been destroyed, presumably during heavy storms. Only colonies of *Acropora palmata* survived, though generally damaged.
- Fig. c. Floor of lagoon basin N of „Little Reef“ at about 8 m depth. Besides single stalks of the manatee grass *Cymodocea manatorum* the lagoon floor is locally overgrown by a thin cover of brown and green algae (*Padina*, *Penicillus*, *Halimeda*, *Caulerpa* etc.).
- Fig. d. The fringing reef in front of „Cotton Cay“ is rising about 1 m above the shallow lagoon floor overgrown by turtle grass (*Thalassia testudinum*). The reef is formed at this location almost exclusively by dense growths of the finger coral *Porites porites* var. *furcata*.



Tafel 7

Westküste und Außenabhang

- Fig. a. Außenabbruch der 4 m-Terrasse zur 20 m-Terrasse etwa 1 km S von „Poxhole“. Das submarine Kliff zeigt hier einen riffartigen Korallenbewuchs, der an anderen Lokalitäten mit schmalerer 4 m-Terrasse fehlt. Blick von der Innenkante der 20 m-Terrasse auf das submarine Kliff.
- Fig. b. Korallenrasen auf der 20 m-Terrasse SW „Poxhole“. Die Korallenfauna zeigt hier eine auffallende Durchmischung und läßt keinerlei Zonierung erkennen. In Bildmitte die Hirschgeweihkoralle *Acropora cervicornis*. Rechts und links dahinter *Montastrea annularis*. Davor feinästige *Madracis mirabilis*. Große, massige Kolonie am linken Bildrand: *Colpophyllia natans*. Etwa 17 m Wassertiefe.
- Fig. c. Korallenrasen auf der 20 m-Terrasse SW „Poxhole“. Hier überwiegen *Montastrea annularis* in blumenkohlartiger Wuchsform neben *Colpophyllia natans* und *Montastrea cavernosa* sowie zahlreichen Oktokorallen. Etwa 18 m Wassertiefe.
- Fig. d. Am Außenrand der 20 m-Terrasse bricht der Meeresboden steil zum Terrassenabsatz in 40 m Wassertiefe ab. Die Aufnahme zeigt Korallenvergesellschaftungen am Außenabhang vor „Poxhole“, in etwa 30 m Wassertiefe. Das Gefälle erreicht hier rund 45°.

Plate 7

West coast and outer slope

- Fig. a. Drop-off at outer edge of 4 m terrace to 20 m terrace about 1 km S of „Poxhole“. The submarine cliff is heavily overgrown by corals giving a reef-like appearance. This is in contrast to other localities with similar topography but that lack a broad 4 m terrace. View from the inner edge of 20 m terrace to the submarine cliff.
- Fig. b. Coral community on the 20 m terrace SW of „Poxhole“ characterized by conspicuous mixing of hermatypic fauna and lack of discernible zonation. Center: Staghorn coral *Acropora cervicornis*. To its left and right in the background colonies of *Montastrea annularis*. In front center: thin-branched *Madracis mirabilis*. Big colony at left margin: *Colpophyllia natans*. Water depth about 17 m.
- Fig. c. Coral community at the 20 m terrace SW „Poxhole“ dominated by colonies of *Montastrea annularis* which in this environment are characterized by cauliflower-like growth forms. These are accompanied by *Colpophyllia natans* and *Montastrea cavernosa* as well as numerous octocorals. Depth ca. 18 m.
- Fig. d. At the outer edge of the 20 m terrace the sea floor drops off to a narrow terrace at a depth of about 40 m. The picture illustrates coral communities at outer slope near „Poxhole“ in about 30 m depth. Slope inclination ca. 45°.



Tafel 8

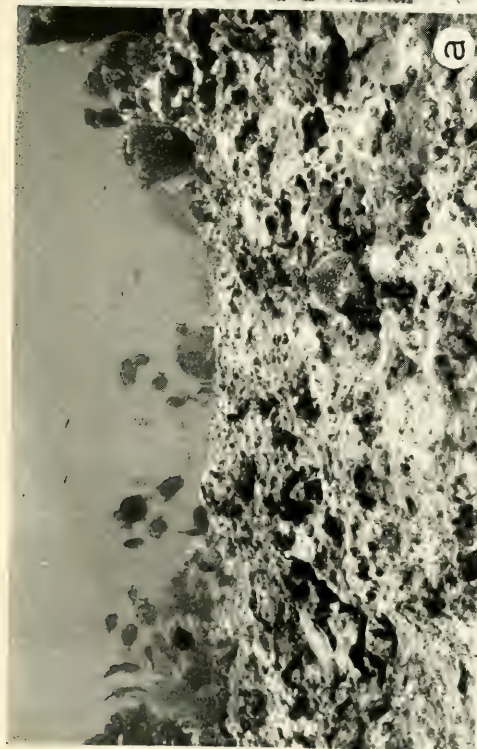
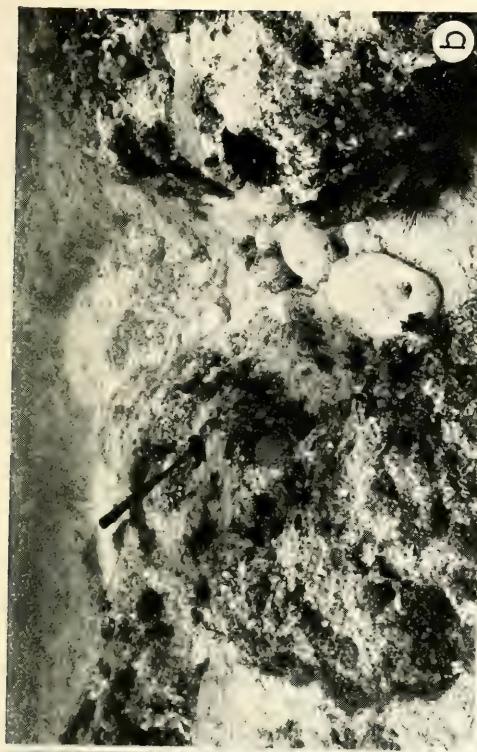
Mechanische Riffzerstörung und biologische Sedimentumlagerung

- Fig. a. Diese etwa 1,5 m breite Schneise wurde im Spätsommer 1970 von einem wellenbewegten Baumstamm im Laufe von einigen Wochen quer über die Rifflatte von „Little Reef“ gezogen. Dabei wurden im Bereich der Schneise die Korallen vollständig zerstampft, während das Riff rechts und links davon weitgehend ungestört erhalten blieb. Als dieses Foto im Mai 1973 aufgenommen wurde, war die Schneise von Braunalgen bewachsen. Korallen hatten sich noch nicht wieder angesiedelt. Außenkante der Rifflatte in etwa 1 m Wassertiefe.
- Fig. b. Brandungsrinnen, welche sich in die pleistozänen Kalke der 4 m-Terrasse vor der Westküste der Insel eingeschnitten haben (ca. 1 km S „Poxhole“). Beachte das Geröll in der Rinne. Hammer als Maßstab (32 cm).
- Fig. c. Intensive, biologische Sedimentumlagerung in den Lagunensedimenten der Hafenbucht von San Andrés. Die maulwurfshaufenartigen Sedimentkegel werden offensichtlich von *Callianassa* sp. erzeugt. Etwa 8 m Wassertiefe. Hammerstiel als Maßstab.
- Fig. d. Bioturbate Sedimentstrukturen in jungpleistozänen Lagunensedimenten, welche in einer künstlichen Brunnengrabung nahe „Sterthenberg Point“ aufgeschlossen liegen. Möglicherweise handelt es sich um ähnliche Grabbauten wie in fig. c.

Plate 8

Mechanical reef destruction and bioturbation

- Fig. a. This 1.5 m broad gap was cut across „Little Reef“ in late summer 1970 by a drifting tree that was tossed over the flat by the waves within a few weeks time. The corals in the gap were completely destroyed, the adjacent reef was left almost unharmed. When this photo had been taken in May 1973 the surface of the gap was veneered with brown algae. No corals had settled down yet. Outer edge of reef flat in about 1 m depth.
- Fig. b. Grooves that have been cut into Pleistocene limestone of the 4 m terrace in front of the West coast of the island (ca. 1 km S of „Poxhole“). Hammer as scale (32 cm).
- Fig. c. Intensive bioturbation in lagoon sediments of San Andrés harbor. Sediment cones presumably are formed by *Callianassa* sp. Depth ca. 8 m. Handle of hammer as scale.
- Fig. d. Bioturbate sediment structures in lagoonal sediments of late Pleistocene age in an artificial outcrop near „Sterthenberg Point“. These may be burrows similar to those shown in fig. c.



Tafel 9

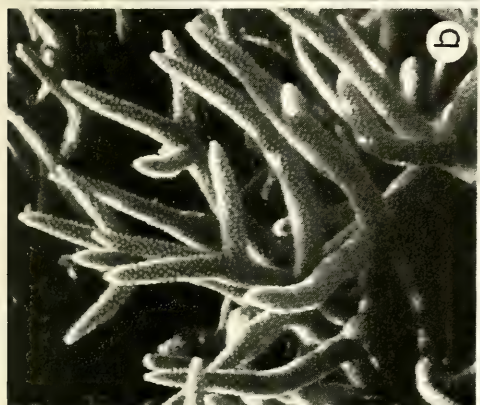
Die Wellenzonen der Riff-Fazies

- Fig. a. Die „vordere *porites*-Wellenzone“ (Vordergrund) und die „vordere *annularis*-Wellenzone“ (Mittelgrund) am Fuße von „Little Reef“. Im Hintergrund der Boden des Lagunenbeckens.
- Fig. b. Ausschnitt aus der „hinteren *cervicornis*-Wellenzone“ von „Half-a-Reef“ (vgl. Taf. 6, Fig. a).
- Fig. c. Die „*Palythoa-Millepora*-Brandungszone“ von „East Reef“.
- Fig. d. Die „*strigosa-palmata*-Brandungszone“ von „Little Reef“.
- Fig. e. Die „*Melobesia*-Brandungszone“ am „Top Blowing Rock“ bei Springniedrigwasser und außergewöhnlich ruhiger See. Der Stab in Bildmitte ist 1,3 m lang. Blick nach S.

Plate 9

The wave zones of the reef facies

- Fig. a. The „front *porites* wave zone“ (foreground) and „front *annularis* wave zone“ (center) at the basis of fore-reef slope of „Little Reef“. In the background the floor of lagoon basin.
- Fig. b. Part of the „rear *cervicornis* wave zone“ at „Half-a-Reef“ (see also pl. 6, fig. a).
- Fig. c. The „*Millepora-Palythoa* breaker zone“ at „East Reef“.
- Fig. d. The „*strigosa-palmata* breaker zone“ at „Little Reef“.
- Fig. e. The „*Melobesia* breaker zone“ (or algal ridge) at „Top Blowing Rock“ during spring low tide and exceptional calm sea. Stick for scale in center of picture is 1.3 m long. View toward south.



Tafel 10

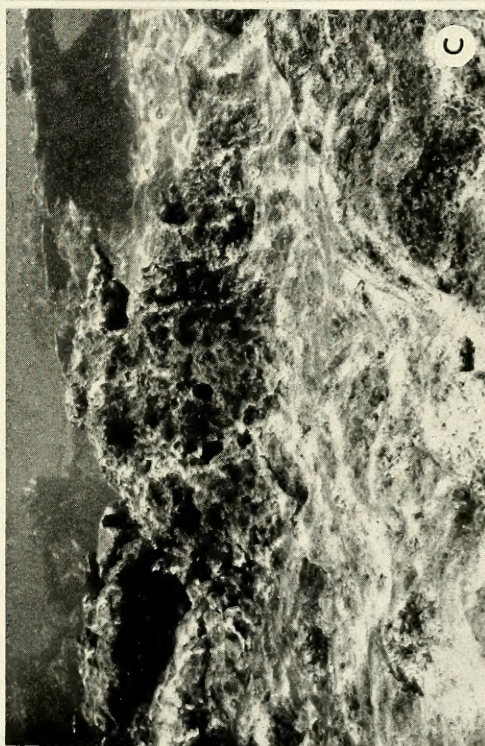
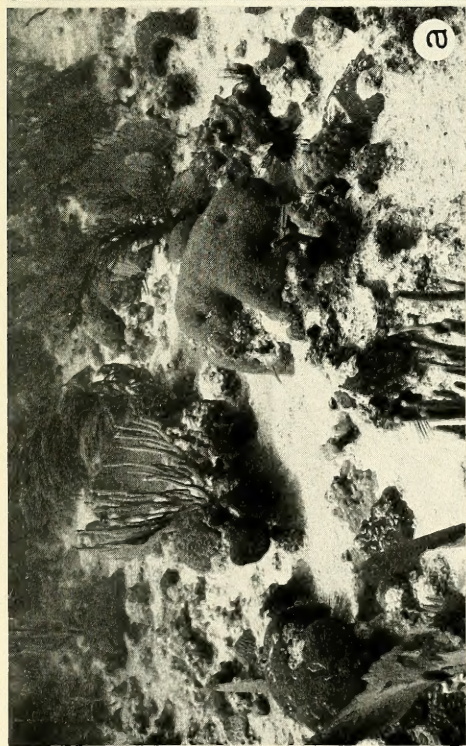
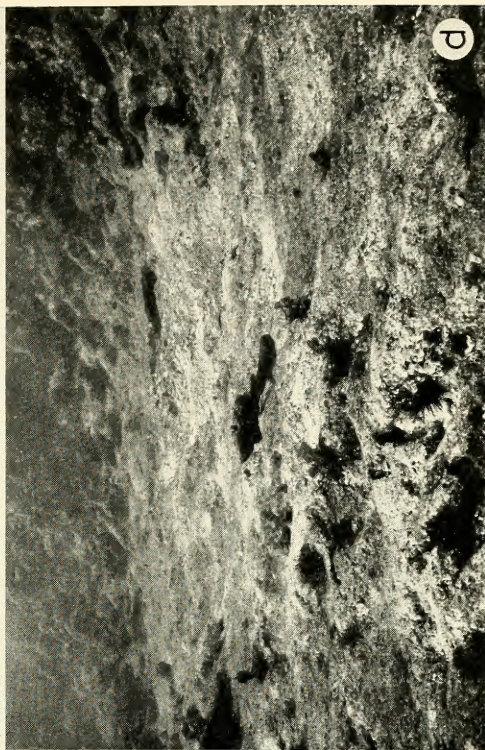
Abrasions-Wellenzonen

- Fig. a. Außenbereich der „*siderea-clivosa*-Abrasions-Wellenzone“. Außer *Siderastrea siderea* dominieren im Bereich der Abbildung verschiedene Oktokorallen; daneben treten vereinzelte *Porites astreoides*, *Diploria strigosa* und *Montastrea cavernosa* auf. 4 m-Terrasse N „Poxhole“, ca. 3 m Wassertiefe.
- Fig. b. Innenbereiche der „*siderea-clivosa*-Abrasions-Wellenzone“, im Übergangsbereich zur „Inneren Abrasions-Wellenzone“ (Hintergrund). Hier dominieren breite Überkrustungen von *Diploria clivosa*, zwischen denen sich noch vereinzelte Kolonien von *Siderastrea siderea*, *Dichocoenia stokesii* und Oktokorallen finden. Dieser bescheidene Korallenwuchs geht im Übergangsbereich zur „Inneren Abrasions-Wellenzone“ fast vollständig verloren. Etwa 2 m Wassertiefe.
- Fig. c. In der „*palmata-clivosa*-Abrasions-Wellenzone“ finden sich fast nur inkrustierende bis massige Kolonien von *Acropora palmata* und *Diploria clivosa* zwischen mehr oder weniger stark abgeschliffenen Substratflächen. Etwa 1 km S „Poxhole“ in Kliffnähe in etwa 1 m tiefem Wasser.
- Fig. d. Die „Innere Abrasions-Wellenzone“ vor dem Küstenkliff auf der 4 m-Terrasse im N von „Poxhole“. Wassertiefe ca. 1,2 m.

Plate 10

Abrasional wave zones

- Fig. a. Photo taken near outer margin of the „*siderea-clivosa* abrasional wave zone“. The faunal association in this part is dominated by *Siderastrea siderea* and octocorals. *Porites astreoides*, *Diploria strigosa* and *Montastrea cavernosa* are less common. 4 m terrace N of „Poxhole“, water depth ca. 3 m.
- Fig. b. Photo taken at inner margin of the „*siderea-clivosa* abrasional wave zone“ at the transition to the „inner abrasional wave zone“ (background). This area shows a coral association dominated by broad incrustations of *Diploria clivosa*, with few colonies of *Siderastrea siderea*, *Dichocoenia stokesii* and octocorals. This poor coral growth is lost almost completely at the transition to the „inner abrasional wave zone“. Water depth about 2 m.
- Fig. c. The „*palmata-clivosa* abrasional wave zone“ shows almost exclusively incrustations of *Acropora palmata* and *Diploria clivosa* adjacent to polished rock surfaces. About 1 km S of „Poxhole“, close to the cliff. Water depth about 1 m.
- Fig. d. The „inner abrasional wave zone“ on the 4 m terrace in front of cliff. N of „Poxhole“. Depth ca. 1.2 m.



Tafel 11

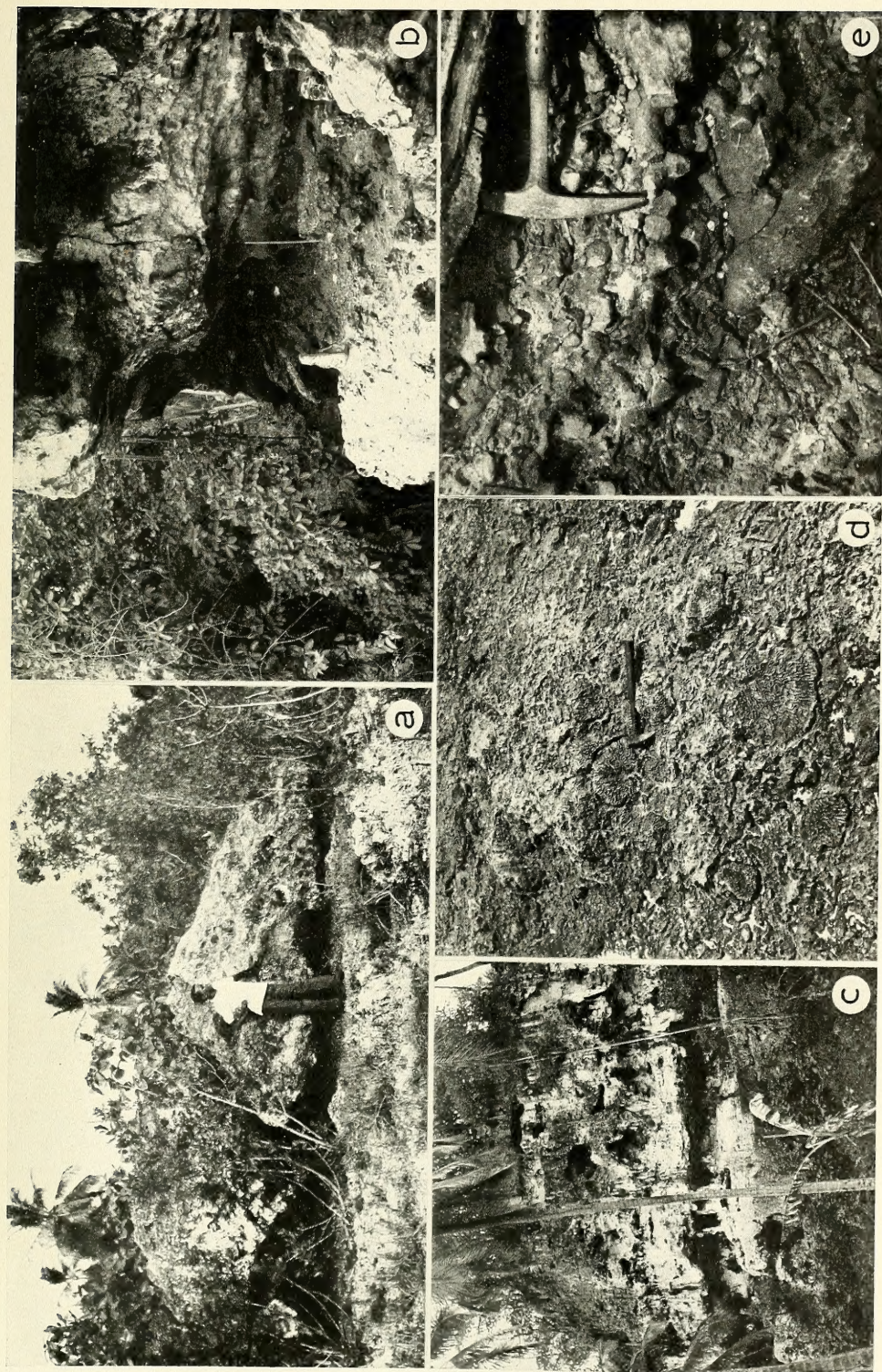
Das Pleistozän und Tertiär

- Fig. a. Trümmer aus pleistozänen Korallenkalken, welche während eines Hurrikanes von Sturmwellen aus dem Überhang des rezenten Kliffes der Westküste gerissen und über 100 m landeinwärts abgelagert wurden (N „Cat Bay“).
- Fig. b. Pleistozäne Hohlkehle in der Wand von „May Cliff“ etwa 14 m ü. NN. Der Maßstab in der inneren Nische der Hohlkehle ist 1 m lang. Die starke Einbuchtung im Überhang der Hohlkehle zeigt einen weiteren, kurzfristigen Meeresspiegelstand in etwa 16 m Höhe an. Das dünnbankige Gestein am Fuße des Maßstabes besteht fast ausschließlich aus den Schalen winziger Mollusken.
- Fig. c. Die Wand von „May Cliff“ mit der 14 m-Hohlkehle. Darüber sind noch weitere pleistozäne Hohlkehlen in 20 und 27 m ü. NN undeutlich zu erkennen.
- Fig. d. Aufschluß eines jungpleistozänen Korallenrasens mit *Diploria strigosa*, *Montastrea annularis*, *Acropora cervicornis* u. a. auf der „Jüngeren Niederterrasse“ bei „Cat Bay“.
- Fig. e. Aufschluß eines tertiären Korallenrasens in „Scoplin Gully“. Es handelt sich an dieser Stelle fast ausschließlich um verzweigte Formen von *Porites* sp.

Plate 11

Pleistocene and Tertiary

- Fig. a. Boulders of Pleistocene limestone that presumably broke off during a hurricane from the visor above the Holocene intertidal notch at the West coast and were washed by storm waves about 150 m landward (N of „Cat Bay“).
- Fig. b. Pleistocene intertidal notch at „May Cliff“ about 14 m above sea level. Stick in notch 1 m. Indentation in visor of notch marks position of another sea level of short duration at about 16 m. Thinly stratified rock at the base of stick is formed almost exclusively of tiny mollusk shells.
- Fig. c. Face of „May Cliff“ with the intertidal notch in ca. 14 m. Above further Pleistocene notches are discernible at 20 and 27 m above sea level.
- Fig. d. Outcrop of coral association of late Pleistocene age with *Diploria strigosa*, *Montastrea annularis*, *Acropora cervicornis* etc. at the „Younger Low Terrace“ of San Andrés near „Cat Bay“.
- Fig. e. Outcrop of Tertiary corals at „Scoplin Gully“. The picture shows almost exclusively branched colonies of *Porites* sp.



AMNH LIBRARY



100164794